

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

**ANALISI DEL RISCHIO DA FRANE DI CROLLO IN
PRESENZA DI SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA NELLA
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**

Elaborato finale di:

VERA BROGINI

Relatrice:

Dott. LAURA GOVONI

Correlatori:

Prof. GUIDO GOTTARDI

Dott. MARCO RANALLI

Dott. Geol. CLAUDIA STRADA

INDICE

Introduzione	1
CAPITOLO I	
Le frane da crollo: caratteri generali del fenomeno	6
1.1 Il dissesto idrogeologico in Italia	6
1.2 Frane: aspetti generali	8
1.2.1 Classificazione dei fenomeni franosi	9
1.2.1.1 Ribaltamenti (Topple o Toppling):	11
1.2.1.2 Scivolamenti.	12
1.2.1.3 Colamenti	13
1.2.1.4 Espansioni laterali	14
1.2.1.5 Fenomeni complessi	15
1.3 Crolli (Falls)	16
1.3.1 La caduta massi	17
CAPITOLO II	
Gli interventi di protezione da frane da crollo	21
2.1 Generalità	21
2.2 Tipologie di interventi	22
2.2.1 Sistemi di difesa attiva	23
2.2.1.1 Interventi che modificano la geometria del versante:	23
2.2.1.2 Interventi che modificano la resistenza meccanica del versante:	25
2.2.1.3 Interventi che modificano le condizioni piezometriche	27
2.2.2 Sistemi di difesa passiva	29
2.3 Le barriere paramassi	31
2.3.1 Caratteristiche costruttive delle barriere paramassi a rete	34
2.3.2 Le linee guida ETAG	38
2.3.2.1 Certificazione delle barriere paramassi	41

[Digitare il testo]

2.3.2.2	Procedura di prova	41
Capitolo III		
La valutazione del rischio		47
3.1	Generalità	47
3.2	Pericolosità	48
3.2.1	Previsione spaziale	50
3.2.2	Previsione temporale	53
3.2.3	Previsione dell' intensità	54
3.3	Elementi a rischio e Esposizione al rischio	55
3.4	La vulnerabilità	59
3.5	Il rischio	60
Capitolo IV		
La metodologia di analisi del rischio adottata dalla Provincia Autonoma di Bolzano		63
4.1	Introduzione	63
4.2	Individuazione dei tratti stradali	65
4.3	Raccolta dei dati di campagna	66
4.4	Definizione della priorità di intervento sull'opera protettiva	67
4.5	Pericolosità del versante sprovvisto di opera di protezione (H)	69
4.6	Pericolosità del versante in presenza di opere protettive (H*)	73
4.7	Definizione della vulnerabilità	75
4.8	Definizione del rischio	75
Capitolo V		
Applicazione della metodologia di analisi del rischio		77
5.1	Introduzione	77
5.2	Raccolta dati	79
5.2.1	Sviluppo del database PARAMount	81
5.3	Applicazione del metodo di analisi di pericolosità sulle strade statali SS242,SS241,SS508	88
5.3.1	Analisi di pericolosità in assenza di opera di protezione	89
5.3.2	Analisi di pericolosità in presenza di opera di protezione	93
5.4	Analisi del Rischio	98

[Digitare il testo]

Conclusioni	105
BIBLIOGRAFIA	109
RINGRAZIAMENTI	113

Introduzione

Nel contesto dell'analisi del rischio da frane di crollo, il lavoro di tesi considera gli effetti della presenza di strutture di protezione passiva, con particolare attenzione rivolta alle barriere paramassi a rete. Il lavoro è stato sviluppato in collaborazione con la Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) e si colloca tra le attività di ricerca del progetto PARAMount (*Improved accessibility reliability and safety of Alpine tran sport infrastructure related to mountainous hazard in a changing climate*).

Negli ultimi anni si è sviluppata una forte sensibilità nei confronti del rischio che il dissesto idrogeologico comporta per il territorio, soprattutto in un paese come il nostro, densamente abitato e geologicamente fragile.

Il rischio idrogeologico In Italia infatti è diffuso in modo capillare e si presenta in modo differente a seconda dell'assetto geomorfologico del territorio.

Tra i fattori naturali che predispongono il nostro territorio a frane ed alluvioni, rientra senza dubbio la conformazione geologica e geomorfologica, caratterizzata da un'orografia giovane e da rilievi in via di sollevamento.

A seguito del verificarsi di una serie di eventi calamitosi (Piemonte 1994, Campania 1998 e 1999, Sovereto 2000, Alpi centrali 2000 e 2002) sono state emanate leggi specifiche finalizzate all'individuazione e all'applicazione di norme, volte a prevenire e contenere i gravi effetti derivanti dai fenomeni di dissesto. Si fa riferimento in particolare, alle leggi n°267 del 3/08/1998 e 365/2000 che hanno integrato la legge 183/1989. In questo modo gli enti territoriali (Regioni, Autorità di bacino) sono stati obbligati a predisporre una adeguata cartografia con perimetrazione delle aree a differente pericolosità e rischio.

Continuano pertanto ad essere intrapresi, promossi e finanziati numerosi studi scientifici volti allo studio dei fenomeni ed alla definizione più puntuale delle condizioni di rischio, per non parlare delle iniziative volte alla creazione di un efficace sistema di allertamento e di sorveglianza dei fenomeni e alla messa a punto di una pianificazione di emergenza volta a coordinare in modo efficace la risposta delle istituzioni agli eventi.

In questo contesto gli studi su validi approcci metodologici per l'analisi e la valutazione del rischio possono fornire un supporto al processo decisionale delle autorità preposte alla

[Digitare il testo]

gestione del territorio, identificando gli scenari di rischio e le possibili strategie di mitigazione, e individuando la soluzione migliore in termini di accettabilità sociale e convenienza economica.

Nel presente elaborato si vuole descrivere i temi relativi alla valutazione della pericolosità, del rischio e della sua gestione, con particolare attenzione ai fenomeni di instabilità dei versanti e nello specifico ai fenomeni di crollo da pareti rocciose che interessano il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano.

Il fenomeno della caduta massi infatti è comunemente diffuso in tutte le regioni di montagna e lungo le falesie costiere, ed in funzione dell'elevata velocità con cui si manifesta può costituire una costante fonte di pericolo per le vite, i beni e le attività umane in zone generalmente molto attive dal punto di vista del turismo e delle grandi vie di comunicazione.

Il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano infatti è fortemente interessato da questo problema, sia per la morfologia montuosa della provincia che per le infrastrutture che sempre più occupano zone di territorio un tempo poco urbanizzate.

Al fine di pervenire ad una legittima programmazione delle attività di previsione e prevenzione, il Dipartimento dei Lavori Pubblici della Provincia, ha scelto di utilizzare una strategia che prevedesse un insieme di attività dirette allo studio ed alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, alla identificazione dei rischi, ed alla determinazione delle zone del territorio soggette ai rischi stessi. E' nato così, con l'operatività dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali, il supporto del Dipartimento Opere Pubbliche e della Ripartizione Protezione Civile e la collaborazione scientifica del DISTART – Università degli Studi di Bologna, Alma Mater Studiorum, il progetto VISO che riguarda i pericoli generati da frane di crollo, ribaltamento, scivolamento di porzioni di pareti rocciose e caduta massi. Il progetto ha come scopo la valutazione del pericolo, della vulnerabilità e del rischio e dell'effettiva funzionalità delle opere di protezione contro la caduta massi lungo la strada statale del Brennero.

Il presente elaborato mostra l'iter per l'individuazione del rischio specifico che caratterizza un particolare tratto stradale, così come è stato pensato dalla Provincia Autonoma di Bolzano all'interno di una strategia di previsione e prevenzione, basata su metodi il più possibile oggettivi, ed estesa all'intera rete stradale di competenza provinciale. Si vuole

[Digitare il testo]

inoltre vedere in che modo la presenza di opere di protezione passiva, influisca sull'analisi di pericolosità e di conseguenza sulla valutazione del rischio.

Nel primo capitolo viene presentata una classificazione dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti basata su quanto indicato da Varnes (1978), con riferimento ai diversi tipi di movimento e di materiale. Ai fenomeni di crollo, in quanto oggetto specifico della presente tesi, viene posta maggiore attenzione, descrivendone i fattori principali che ne costituiscono le cause nonché il cinematismo caratteristico di questo movimento franoso.

Il secondo capitolo riguarda gli interventi di protezione da frane di crollo. Recentemente infatti la ricerca e gli studi nel campo della caduta massi hanno subito un incremento sia in termini quantitativi che qualitativi. Per ridurre il rischio associato al distacco di elementi lapidei da versanti rocciosi vengono utilizzate oggi due tipologie di intervento: gli interventi *attivi*, che agiscono all'origine del problema provvedendo ad impedire il distacco degli elementi lapidei dal versante; gli interventi *passivi*, per intercettare, deviare o arrestare i massi in movimento. Nel presente elaborato l'attenzione è stata rivolta alle barriere paramassi a rete di tipo elastico, strutture metalliche ad alta deformabilità, che si collocano tra gli interventi di difesa passivi più frequentemente utilizzato anche grazie alla loro versatilità e al basso impatto ambientale.

Nel capitolo vengono descritte dal punto di vista progettuale, prendendo in esame anche la normativa di riferimento nonché le nuove linee guida per la certificazione CE delle barriere, nate negli ultimi anni per portare ad una facile comparabilità dei vari prodotti sottoposti ad impatti normalizzati, definendo con chiarezza i livelli energetici ai quali possono essere utilizzati i vari prodotti e, nel contempo, fornendo informazioni assolutamente indispensabili per la buona progettazione degli stessi.

Nel capitolo successivo si prendono in esame i temi relativi alla valutazione della pericolosità, e del rischio, in termini generali, con particolare attenzione ai fenomeni di crollo di materiale roccioso. Vengono quindi definiti i diversi parametri che intercorrono alla valutazione, quali pericolosità, vulnerabilità, intensità ed elementi a rischio, e per ognuno di essi, oltre a darne una definizione, vengono presentati (senza entrare troppo nello specifico) i vari metodi per la loro valutazione.

Si passa quindi alla descrizione dell'iter procedurale di analisi del rischio adottato dalla Provincia Autonoma di Bolzano, nell'ambito della mitigazione delle conseguenze del

[Digitare il testo]

dissesto idrogeologico, in relazione alle frane da crollo che investono le strade della rete provinciale.

Nell'ultima fase del lavoro si è proceduto all'analisi di pericolosità e di rischio per alcune tratte stradali all'interno del comprensorio della Provincia Autonoma di Bolzano; a partire dalla raccolta dei dati necessari, fino all'analisi numerica vera e propria.

Ho provveduto, con l'aiuto di una collega del corso di laurea, a raccogliere i dati presenti nelle diverse sedi del servizio strade della provincia di Bolzano. Questa ricerca d'archivio è stata rivolta alla raccolta delle informazioni relative al maggior numero di barriere paramassi deformabili installate in un arco temporale di dieci anni, con lo scopo di ricavare le informazioni di effettiva utilità, quali progetti, calcoli, disegni, certificazioni, libretti di manutenzione e libretti di montaggio. Sono state visionate le schede tecniche delle principali barriere presenti sul territorio e integrati i dettagli costruttivi contattando le principali ditte fornitrici.

Ci si è chiesti in che modo le opere di protezione paramassi contribuiscano realmente al miglioramento delle condizioni di pericolosità di un versante o se la loro considerazione ai fini di una pianificazione delle azioni di prevenzione, mirate alla riduzione delle possibilità che si verifichino danni in seguito ad eventi catastrofici, non sia così rilevante.

A tale scopo sono state classificate le opere, identificando dei modelli di "barriere-tipo, e catalogate in un database (PARAMOUNT), già creato per il PROGETTO VISO, nato come catasto delle opere di protezione presenti lungo le arterie stradali amministrate dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

Laddove fossero presenti le foto relative alle barriere, rilevate in precedenza dall'istituto di Geologia della Provincia Autonoma di Bolzano e inserite in VISO, queste sono state utilizzate per associare tali barriere ai modelli suddetti; in particolare, oltre alla geometria dell'opera, la tipologia della rete e il tipo di montante, si è rivelato fondamentale per il riconoscimento, la tipologia di freno, caratteristico di ogni ditta, e la sua collocazione sulla barriera (su funi portanti e su funi di controvento).

In seguito si è proceduto al collaudo dei modelli creati, andando a verificare sul posto, che le barriere presenti sul territorio ed inserite nel database (tramite modello), effettivamente coincidessero, nelle misure e per le caratteristiche geometrico-costruttive, ai modelli a cui erano state associate.

[Digitare il testo]

Sono stati inoltre considerati i danni tipici a cui può essere soggetta una barriera paramassi durante il suo periodo di esercizio, poiché tali difetti andranno ad incidere sulla valutazione dell'utilità del sistema di difesa, quindi sulla priorità di intervento, e di conseguenza sulla valutazione della pericolosità del versante (H^*).

A questo punto, utilizzando i dati ricavati dai sopralluoghi e quelli forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano e dal Dipartimento delle Infrastrutture dell'Università di Bologna, è stato possibile procedere con l'analisi numerica vera e propria effettuando i calcoli per ricavare i valori di pericolosità dei versanti analizzati al fine di verificare come, in assenza e in presenza di opere protettive, tali valori influiscano sull'analisi di rischio.

CAPITOLO I

Le frane da crollo: caratteri generali del fenomeno

1.1 Il dissesto idrogeologico in Italia

Si riportano di seguito alcuni concetti di carattere generale riguardanti il rischio geologico-idraulico e la difesa del suolo, anche attraverso riferimenti alla normativa vigente nel nostro paese.

La Commissione De Marchi (1970 e 1974) fornisce una definizione di **dissesto idrogeologico**, inteso come l'insieme di *“quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente, alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi delle frane”*.

Per quanto riguarda il concetto di **difesa del suolo**, la stessa Commissione intende *“ogni attività di conservazione dinamica del suolo, considerato nella sua continua evoluzione per cause di natura fisica e antropica, e ogni attività di preservazione e di salvaguardia di esso, della sua attitudine alla produzione e delle installazioni che vi insistono, da cause straordinarie di aggressione dovute alle acque meteoriche, fluviali e marine o di altri fattori meteorici”*.

Attualmente tutta la normativa in materia di difesa del suolo, compresa la legge quadro sulla difesa del suolo n. 183 del 1989, definisce il termine di dissesto idrogeologico come *“qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l'acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo”*.

Dove per **suolo** si intende *“il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali”*.

Per quanto riguarda il concetto di **rischio geologico**, esso viene definito come la *“combinazione della pericolosità geologica e della potenziale vulnerabilità antropica di un territorio, espresso in termini di rapporto tra i prevedibili eventi di pericolosità geologica, la loro intensità e frequenza e le relative interferenze con le attività antropiche”* (BOLT et alii, 1975).

Il rischio geologico rientra nella più ampia categoria di rischio ambientale, e rappresenta per il nostro Paese un problema di notevole rilevanza. Secondo il rapporto sulle frane in Italia,

[Digitare il testo]

realizzato dall'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (Apat), sono imponenti le cifre del dissesto geologico italiano (5.596 su 8.101 i comuni italiani sono interessati da frane). Tale rapporto ne mette a fuoco la dimensione su scala nazionale e regionale, confermando un quadro preoccupante e in gran parte noto di un Paese a rischio: sono state censite circa 470 mila frane in 20 mila km², pari al 6,6% dell'intero territorio nazionale.

Un numero così elevato di fenomeni franosi – spiega l'Apat – è legato principalmente all'assetto morfologico del nostro paese (orografia giovane e rilievi in via di sollevamento), per circa il 75% costituito da territorio montano-collinare e alle caratteristiche meccaniche delle rocce affioranti.

Tuttavia il rischio idrogeologico è stato fortemente condizionato dall'azione dell'uomo e dalle continue modifiche del territorio che hanno, da un lato, incrementato la possibilità di accadimento dei fenomeni e, dall'altro, aumentato la presenza di beni e di persone nelle zone dove tali eventi erano possibili e si sono poi manifestati, a volte con effetti catastrofici. L'abbandono dei terreni montani, l'abusivismo edilizio, il continuo disboscamento, l'uso di tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente, l'apertura di cave di prestito, l'occupazione di zone di pertinenza fluviale, l'estrazione incontrollata di fluidi (acqua e gas) dal sottosuolo, il prelievo abusivo di inerti dagli alvei fluviali, la mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua hanno sicuramente aggravato il dissesto e messo ulteriormente in evidenza la fragilità del territorio italiano.

Il continuo verificarsi di questi episodi più o meno catastrofici ha indotto il Ministero dell'Ambiente e gli Enti istituzionalmente competenti ad attuare una politica di gestione del rischio che affrontasse il problema non solo durante le emergenze. Si è così passati da una impostazione di base incentrata sulla riparazione dei danni e sull'erogazione di provvidenze, ad una **cultura di previsione** (determinazione delle cause, individuazione delle aree a rischio) e **prevenzione** (riduzione della possibilità di verifica di un danno), diffusa a vari livelli, imperniata sull'**individuazione delle condizioni di rischio** e volta all'adozione di **interventi finalizzati alla minimizzazione dell'impatto degli eventi**.

A seguito dell'emanazione di recenti provvedimenti normativi (Legge urbanistica provinciale n°13 del 11/08/1997, ed il relativo Regolamento di Esecuzione D.P.G.P n°5 del 23/02/1998; il D.L n°180 del 11/06/1998 coordinato con la legge di conversione L. n°267 del

[Digitare il testo]

3/08/1998, nonché il relativo atto di coordinamento D.P.C.M del 29/09/1998; le Direttive Provinciali per la redazione del piano delle zone di pericolo e per la classificazione del rischio specifico), sono state perimetrate le aree del territorio italiano a rischio idrogeologico elevato o molto elevato.

Parallelamente continuano ad essere intrapresi, promossi e finanziati numerosi studi scientifici volti allo studio dei fenomeni ed alla definizione più puntuale delle condizioni di rischio.

Sono state inoltre incrementate ed accelerate le iniziative volte alla creazione di un efficace sistema di allertamento e di sorveglianza dei fenomeni e alla messa a punto di una pianificazione di emergenza volta a coordinare in modo efficace la risposta delle istituzioni agli eventi.

1.2 Frane : aspetti generali

Nonostante la definizione apparentemente semplice, i movimenti franosi sono fenomeni molto complessi, la cui classificazione risulta spesso incerta. Il sistema di classificazione più frequentemente adottato è quello proposto da Varnes nel 1978 .

I movimenti franosi sono dei fenomeni di massa coinvolgenti rocce, detriti o terre, attraverso i quali si manifesta tendenza, da parte di un corpo, al raggiungimento di un minimo di energia potenziale, (Varnes D.J., 1978). Il distacco e il movimento dei volumi di roccia coinvolti, è sostenuto da un unico campo di forze: il campo di **attrazione gravitazionale**. Agli sforzi gravitativi, le rocce oppongono in generale una resistenza, che prende il nome di resistenza al taglio. Questa è determinata dalle forze di attrito meccanico che si generano lungo i piani di rottura e scorrimento, che possono essere espresse in termini di coefficiente di attrito interno, e dalle forze di legame tra gli elementi costituenti le rocce, in dipendenza di legami elettrostatici o cementazione di grani e matrice, che esprimono una proprietà meccanica, che in misura fortemente variabile, tutte le rocce possiedono: la **coesione**.

L'attrito è la resistenza che un oggetto (un piccolo ciottolo, un grande masso, una casa, una porzione di una montagna) oppone al richiamo della gravità, che tenderebbe a trascinarlo il

[Digitare il testo]

più in basso possibile, mentre la coesione è la forza che “tiene insieme” le particelle (cristalli, granuli, mattoni, strati di roccia) che costituiscono un oggetto o un materiale. Gli oggetti “geologici” (masse di terra, strati di rocce, versanti e pareti di montagne) si trovano quindi in una situazione di delicato equilibrio tra queste forze: quando la gravità diviene prevalente sulle altre due, allora l’oggetto, o la massa rocciosa, si muove verso il basso.

Moltissimi sono, però, i fattori che possono intervenire, in modo naturale o per causa dell’uomo, a turbare questo delicato e instabile equilibrio, venendo a variare l’attrito o la coesione del materiale, o intervenendo sulla gravità, con variazioni di peso del materiale. Il tipo di movimento, il volume del materiale e la velocità del movimento dipendono proprio da questi fattori.

Per ogni piano ipotetico di rottura, è possibile definire sforzi agenti, che tendono a deformare le rocce e sforzi resistenti che a questa deformazione, si oppongono. Il rapporto tra questi ultimi ed i primi, esprime il cosiddetto **coefficiente di sicurezza** che, con valore unitario, identifica le condizioni di equilibrio statico limite del versante. Per valutare le condizioni di equilibrio lungo una ipotetica superficie di rottura è dunque necessario caratterizzare le proprietà meccaniche dei volumi di roccia coinvolti. Le prove geotecniche di laboratorio consentono di valutare i valori di coesione ed angolo di attrito di taglio di campioni indisturbati, prelevati sui versanti in studio.

Inoltre le condizioni di equilibrio dipendono fortemente dalla presenza della **fase acquosa** all’interno del sottosuolo. Infatti, questa incrementa il peso dei volumi di roccia, diminuisce il valore di coesione e di angolo di attrito di taglio di alcune rocce, e soprattutto altera le condizioni di sforzo sui piani di scorrimento. In accordo con il principio delle tensioni effettive, qualsiasi incremento di pressione neutra nel sottosuolo, provoca una corrispondente diminuzione della tensione normale e, dunque, della resistenza al taglio.

1.2.1 Classificazione dei fenomeni franosi

Nella classificazione degli eventi franosi ha un ruolo primario il tipo di materiale coinvolto, che viene classificato tenendo conto dello stato precedente al movimento iniziale. A questo

[Digitare il testo]

proposito si distinguono tre tipologie principali di materiale: **Roccia**, **Terra** e **Detrito** che sono la traduzione dei termini inglesi di Rock, Soil e Debris definiti in EPOCH (1991-93).

Per **Roccia** si intende un aggregato naturale di granuli o minerali legati da elevata coesione (cementati), che non viene perduta anche dopo essiccamento o prolungata immersione. In genere le rocce sono interessate da piani di discontinuità che influenzano profondamente il comportamento meccanico dell'intero ammasso.

La **Terra** è un mezzo granulare multifase, in quanto costituito da grani di minerali in contatto tra di loro; nei pori presenti tra i grani, può essere presente sia acqua che aria. Qualora, all'interno dei vuoti, sia presente solamente acqua il corpo è saturo, nel caso contrario siamo nella condizione di terreno asciutto.

Il **Detrito** è un aggregato naturale di grani minerali e può presentare diversi gradi di cementazione tra gli elementi della matrice; può essere costituito da materiale prevalentemente grossolano (debris), in cui si hanno numerosi granuli (20-30%) con dimensioni maggiori dei 2 mm, oppure può essere costituito da materiale in prevalenza fine (earth), in cui si hanno circa il 70-80% delle particelle di dimensioni minori dei 2 mm.

Secondo l'approccio seguito dal progetto EPOCH (1991-93)(vedi tabella sotto), si effettua la classificazione dei movimenti franosi in base al tipo di movimento della massa spostata ed al tipo di materiale interessato.

I movimenti sono stati suddivisi in sei differenti tipi:

1. Crollo
2. Ribaltamento
3. Scivolamenti
4. Espansioni laterali
5. Colamenti
6. Complessi

I movimenti tipo scivolamento possono essere ulteriormente divisi in:

- 3.a – Scivolamento Rotazionale
- 3.b – Scivolamento Traslazionale

[Digitare il testo]

Quest'ultimo può essere ulteriormente diviso in Scivolamento Traslazionale - non Rotazionale e in Scivolamento Traslazionale - Planare.

Successivamente sono state introdotte ulteriori classi a partire da quelle già elencate o si sono effettuate piccole variazioni con l'intento di catalogare ed identificare, in maniera univoca, tutti i possibili dissesti franosi sul territorio.

Tabella 1. Classificazione dei movimenti franosi (EPOCH, 1993) Tipo di movimento			Tipo di Materiale		
			ROCCIA Bedrock	DETRITO Debris	TERRA Earth
Crolli (Falls)			rockfall	debris fall	soil fall
Ribaltamenti (Topples)			rock topple	debris topple	soil topple
Scivolamenti (Slides)	Rotazionale (Rotazional)		Rock Slump	Debris Slump	Soil Slump
	Traslazionale (Translational)	non rotazionale	block slide	block slide	slab slide
		planare	rock slide	debris slide	mud slide
Espansioni (o Espandimenti) Lateral (Lateral spreading)			rock spreading	debris spreading	Soil (debris) Spreading
Colamenti (Flow)			Rock flow Sackung	debris flow	soil flow
Complesse (Complex)			rock avalanche	flow slide	slump-earthflow

1.2.1.1 Ribaltamenti (Topple o Toppling):

Sono fenomeni simili ai crolli e, generalmente, si verificano in versanti interessati da discontinuità strutturali preesistenti .

Il ribaltamento comporta una rotazione (figura 1) rigida frontale o un'inflessione di una massa intorno ad un punto o un asse situato al di sotto del baricentro della massa stessa. Questo movimento avviene in presenza di alcune famiglie

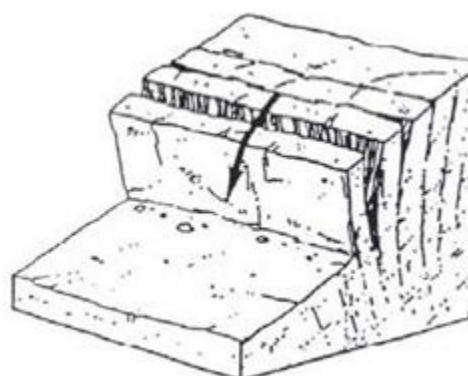


Figura 1 - ribaltamento

di discontinuità, che devono essere sia sub verticali (Figura 2) sia suborizzontali. Le superfici di discontinuità sono costituite generalmente da: giunti di stratificazione, piani di faglia, fratturazione tettonica, fessurazione di varia natura, piani di scistosità o di laminazione,

[Digitare il testo]

superfici di contatto tra materiali aventi caratteristiche geomeccaniche differenti. Il movimento non necessariamente implica il collasso del materiale coinvolto; qualora questo si verifici segue il cinematismo di un crollo o di uno scivolamento.

Il fenomeno può svilupparsi in tutti i tipi di materiali: rocce, detriti e terre.

Questa tipologia di movimento può avvenire con velocità estremamente variabili, da molto lente a molto rapide, nel caso in cui culminino in un crollo improvviso.

Le cause innescanti sono anche in questo caso i cicli di gelo e disgelo, lo scalzamento alla base ad opera di alvei fluviali (figura 3), l'azione sismica, e l'incremento della pressione dell'acqua presente tra le discontinuità. Le fratture presenti (faglie e piani di stratificazione) nelle zone superiori possono essere aperte oppure riempite da detrito o altro materiale.

.

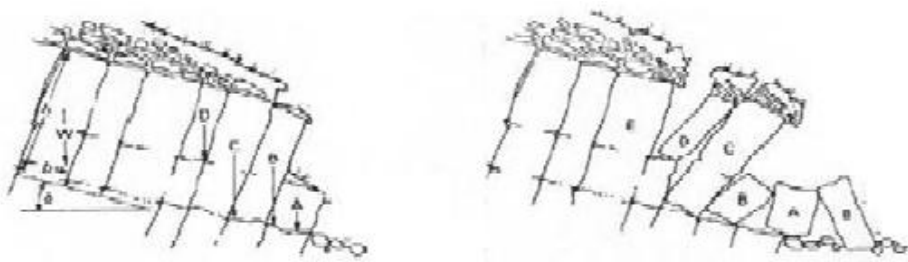


Figura 2 – Movimento franoso per ribaltamento dovuto a giaciture sub-verticali

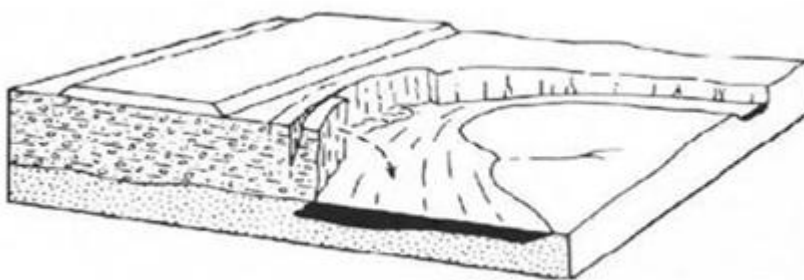


Figura 3 - Fenomeno franoso di ribaltamento per scalzamento fluviale al piede

1.2.1.2 Scivolamenti.

Si dividono in base alle caratteristiche geometriche della superficie di scorrimento in movimenti per scivolamento traslazionale o rotazionale.

[Digitare il testo]

Nel movimento traslazionale gli spostamenti avvengono principalmente su delle superfici discontinue già inclinate (superfici di strato in successione sedimentaria, di fratturazione o scistosità in rocce metamorfiche) e prevalentemente si verificano su pendii a franapoggio, quando gli strati non si riescono a sostenere tramite l'attrito tra le due superfici.

Nel movimento rotazionale (Figura 4) gli spostamenti si verificano lungo superfici curve, concave verso l'alto, in materiali coerenti o pseudo - coerenti, quando viene superata la resistenza al taglio degli stessi materiali.

Alla superficie di scorrimento principale, sono spesso associate superfici secondarie. Questi tipi di movimenti sono ricorrenti in rocce plastiche ma anche in ammassi omogenei a vario grado di cementazione ed in coltri alterate. Influenti sono le pressioni dell'acqua e le loro oscillazioni, la presenza di sovraccarichi (es. opere antropiche), e l'azione di sismi. Sono marcati in superficie dalla presenza di scarpate di altezza variabile (5-10 m), alle quali si associano spesso verso valle zone di minore acclività o disposte in contropendenza che corrispondono alla zona di accumulo della massa in movimento e sono dovute alla parziale rotazione del corpo sulla superficie concava verso l'alto.

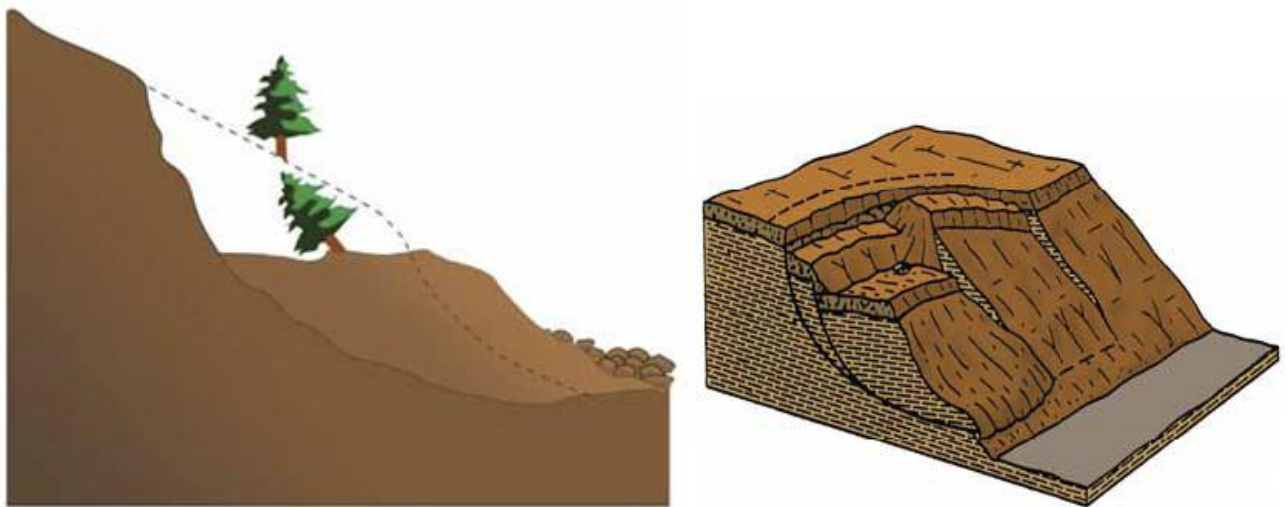


Figura 4 – modello schematico di scorrimento rotazionale e di scorrimento rotazionale multiplo

1.2.1.3 Colamenti

Le frane di colamento (Figura 5) sono caratteristiche di terre ed ammassi detritici, avvengono lungo superfici non visibili che si attivano durante lo scorrimento stesso.

[Digitare il testo]

Interessano aree molto estese, anche interi versanti, lungo i quali è possibile distinguere un bacino collettore o di alimentazione. Sono generalmente da ricondurre all'elevato contenuto d'acqua con superamento del limite di liquidità (WLL) nel caso di terreni argillosi. Il movimento interessa solitamente gran parte dello spessore della massa coinvolta che si comporta in maniera simile ad un fluido viscoso che si muove con velocità solitamente modeste, e che può andare incontro talvolta a deformazioni anche molto intense. Questo genere di frane sono marcate da corone di distacco solitamente meno nette rispetto a quelle corrispondenti agli scorrimenti, e spesso associate a strappi e fratture nei primi decimetri del suolo.

Anche in questo caso nella parte che comprende il piede del corpo di frana, ossia nella zona di accumulo dei materiali franati, si formano dei rigonfiamenti del terreno di forma lobata, allungati nel senso di massima pendenza ed evidenziati dalla presenza di scarpate, le quali possono essere anche molto pronunciate e raggiungere i 6-7 m

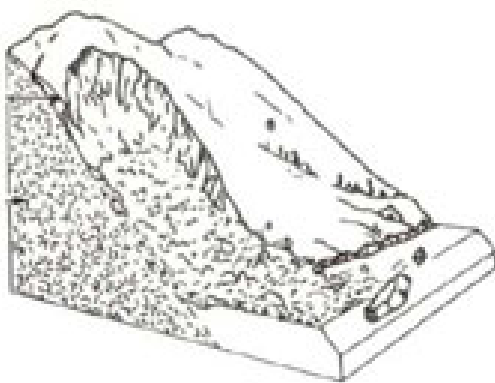


Figura 5

1.2.1.4 Espansioni laterali

Questa tipologia di movimenti si verifica quando un materiale roccioso o un terreno coesivo competente, si trovano al di sopra di terreni a minore consistenza, quali misture di sabbie ed argille o limi saturi di acqua o argille, che hanno subito fenomeni di rammollimento. Questi materiali, a seguito di processi di plasticizzazione, o in alcuni casi per vera e propria fluidificazione, inducono nei materiali competenti sovrastanti dei processi deformativi a lungo termine, senza quindi intense deformazioni di taglio, che producono fratture di tensione; tale processo genera una separazione in blocchi degli ammassi rocciosi, e, a

[Digitare il testo]

seguito della deformazione del substrato plastico, subsidenza e progressivo allontanamento dal versante di blocchi isolati, generalmente a velocità estremamente basse, dell'ordine di pochi mm/anno.

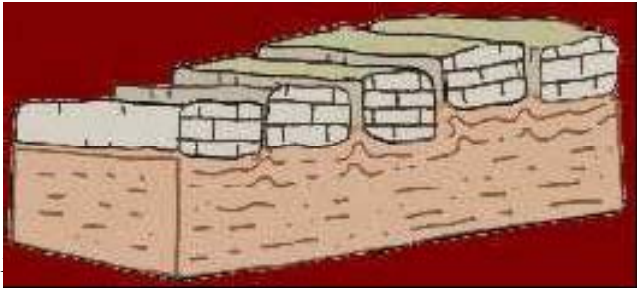


Figura 6

Questi movimenti presentano caratteristiche di innesco ed evoluzione nel tempo e nello spazio non riconducibili ad una sola delle categorie precedentemente descritte, il relativo movimento deriva, quindi, dalla combinazione di due o più tipi di movimento, verificatisi in successione temporale. La gran parte dei fenomeni franosi rientra in questa categoria. Per una loro corretta classificazione devono essere individuati e riconosciuti i principali tipi di movimento che li caratterizzano, in base ai quali si assegna una nomenclatura binaria al fenomeno.

1.2.1.5. *Frane complesse*

Questi movimenti presentano caratteristiche di innesco ed evoluzione nel tempo e nello spazio non riconducibili ad una sola delle categorie precedentemente descritte, il relativo movimento deriva, quindi, dalla combinazione di due o più tipi di movimento, verificatisi in successione temporale. La gran parte dei fenomeni franosi rientra in questa categoria. Per una loro corretta classificazione devono essere individuati e riconosciuti i principali tipi di movimento che li caratterizzano, in base ai quali si assegna una nomenclatura binaria al fenomeno.

1.3 Crolli (Falls)

Sono dei fenomeni che iniziano con il distacco di roccia da un pendio acclive, lungo una superficie avente resistenza a taglio limitata o nulla (Fig 7). Generalmente si verificano in versanti interessati da discontinuità strutturali preesistenti (faglie e piani di stratificazione) o di neoformazione e

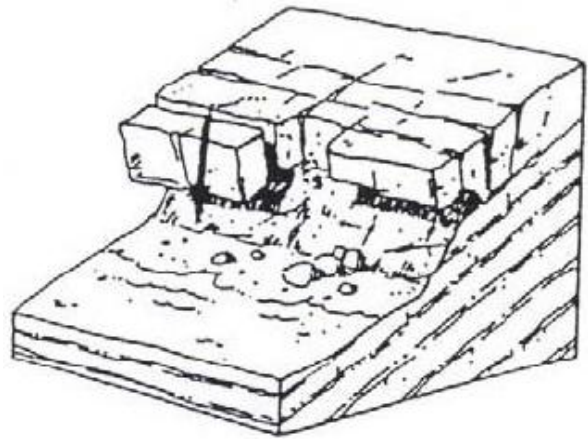


Figura 7 - movimento franoso tipo ribaltamento

sono caratterizzati da velocità abbastanza alte e scarsi segni premonitori; infatti, sono osservabili solo cedimenti nelle zone laterali dell'ammasso e piccole fessure superficiali.

Cause innescanti per questo tipo di movimento sono tutti i meccanismi in grado di determinare la rottura dei contatti residui presenti su un sistema di piani di debolezza strutturale favorevolmente orientati quali: cicli di gelo e disgelo, scalzamento alla base del versante ad opera di alvei fluviali, azione sismica, pressione dell'acqua presente tra le discontinuità, azione degli apparati radicali della vegetazione, etc.. I fenomeni di tipo crollo sono tipici delle rocce lapidee in cui si sviluppa un sistema di superfici di rottura piane o leggermente curve; il materiale si muove generalmente per caduta libera nell'aria e con successivi rimbalzi e/o rotolamenti fino ad azzerare la propria energia cinetica. Nello studio dei fronti di crollo, importante è riuscire ad identificare le possibili aree di distacco definendo le eventuali dimensioni e la relativa forma dei massi instabili ed ipotizzando l'eventuale tragitto del masso lungo il versante. La definizione dei possibili percorsi consente di individuare i beni esposti al rischio ed eventualmente organizzare dei sistemi di difesa passiva a loro protezione.

Le frane per crollo (la caduta massi) saranno nello specifico oggetto del presente elaborato e verranno affrontate con maggiore dettaglio.

[Digitare il testo]

1.3.1 La caduta massi

Per caduta massi si intende il fenomeno di distacco ed il successivo movimento verso valle di blocchi rocciosi perlopiù isolati e volumetricamente limitati (compresi tra 0.02 m^3 fino a 5 m^3), da pareti rocciose particolarmente acclivi e tettonicamente disturbate (Figura 8).

Questi materiali lapidei possono raggiungere grandi energie cinetiche con velocità che possono arrivare fino a 30 m/s .



Figura 8 - Grosso masso ostruisce la carreggiata di una strada di montagna

Tale fenomeno rappresenta uno dei rischi geologici più frequenti nel territorio nazionale, in particolar modo negli ambienti montani, con gravi conseguenze sulla percorribilità dei tratti viari, sulle infrastrutture, e conseguenti gravi disagi ai centri abitati.

Il distacco dei blocchi da un versante è fortemente influenzato dalle condizioni strutturali dell'ammasso (famiglie di discontinuità, persistenza, spaziatura), dalla geometria (giacitura e orientazione delle discontinuità rispetto al versante), dalle caratteristiche meccaniche (resistenza a taglio delle discontinuità, resistenza a trazione di eventuali ponti di roccia) e da eventuali sollecitazioni esterne (presenza di acqua in pressione nelle discontinuità, sismi, ecc.).

[Digitare il testo]

La caduta massi è un tipico problema dovuto ad influenze interne ed esterne al pendio interessato, insieme all'azione della gravità.

I fattori esterni sono l'alterazione chimica superficiale delle rocce, le variazioni di temperatura, il gelo, lo scorrimento superficiale dell'acqua, l'azione del vento, l'erosione al piede del pendio e la pressione esercitata dalle radici delle piante.

I fattori interni sono legati agli sforzi residui della roccia di tipo geologico, alle fratture presenti, alle discontinuità.

Da tenere particolarmente in considerazione l'azione dell'acqua ed i cicli di gelo e disgelo: la massima frequenza di caduta di massi avviene infatti nei periodi di elevate precipitazioni e quando le temperature oscillano intorno ai 0° C.

Una volta avvenuto il distacco, la traiettoria seguita da un blocco è la combinazione di quattro processi principali: **scivolamento** e/o **ribaltamento**, **caduta libera**, **rimbalzo** e **rotolamento**. Questi processi sono governati da leggi fisico-meccaniche ben conosciute e possono essere descritti con semplici equazioni.

Lo scivolamento è generalmente limitato alle fasi iniziali di un crollo, ha luogo su corte distanze (da pochi centimetri ad alcuni metri) ed è caratterizzato da basse velocità e da una considerevole dissipazione di energia per attrito. Per massi di grosse dimensioni può anche verificarsi al momento dell'impatto, con significativa perdita di energia.

La caduta libera rappresenta lo stato di moto predominante di un crollo in roccia. Guidato dalla gravità, il processo è descritto da traiettorie di tipo parabolico ed è caratterizzato da velocità elevate. Durante la caduta libera, l'energia potenziale del masso viene trasformata in energia cinetica. Raramente il movimento principale di un masso avviene per puro rotolamento: di solito infatti questo tende a realizzarsi tramite una sequenza ravvicinata di rimbalzi che generano delle traiettorie paraboliche di altezza modesta (Broili, 1973; Azzoni et al., 1991).

Il rotolamento si osserva solo in blocchi di forma sferica, ovale o cilindrica, quando la velocità del masso è modesta ed il versante presenta superfici pseudo - piane, a bassa inclinazione e scarsa rugosità delle superfici.

L'impatto al suolo è il fattore più complesso, difficile da modellare e meno conosciuto di un crollo. Al momento dell'impatto, si ha una perdita di energia e la direzione di movimento del masso può cambiare.

[Digitare il testo]

Le peculiarità che possono essere ravvisate nel fenomeno sono numerose, ed è per questo che la sua analisi risulta sempre molto complessa e densa di problematiche, ma si può affermare che gli aspetti che principalmente lo contraddistinguono dagli altri movimenti franosi sono due:

- Il distacco e la successiva caduta di un masso, o di più massi, interessano una singola porzione di roccia, ma il comportamento dinamico delle singole porzioni è sostanzialmente indipendente da quello delle altre.
- Le dimensioni degli elementi di roccia in movimento sono solitamente contenute rispetto alle altre caratteristiche geometriche del problema, come il dislivello o la lunghezza del percorso di caduta.

Le condizioni necessarie affinché avvenga il distacco del materiale roccioso possono essere sintetizzate in quanto segue:

- Devono esistere sul pendio blocchi separati dal resto dell'ammasso; quindi devono essere presenti delle famiglie di discontinuità più o meno accentuate;
- L'inclinazione del pendio deve essere tale da rendere instabili i blocchi;
- Deve esistere una forza esterna che dà origine al dissesto.

Negli ultimi 30 anni le conoscenze sui processi di crollo, in particolare gli studi sulla propagazione dei massi, hanno beneficiato di numerosi approfondimenti derivanti da studi e approcci di diversa natura (Broili, 1973; Paronuzzi, 1987; Paronuzzi e Cocco, 1995; Paronuzzi et al., 1996; Giani, 1992; ARPA Piemonte, 2004).

I metodi di calcolo oggi più utilizzati sono distinti in:

- metodi che considerano il blocco puntiforme;
- metodi che assegnano al blocco una particolare forma geometrica (ellissoide o poliedro).

Non è nostro interesse entrare nel dettaglio dei diversi metodi che sono stati studiati ma è doveroso sottolineare che tutti i metodi numerici o analitici hanno la necessità di inserire

[Digitare il testo]

dei parametri che perlopiù vengono ottenuti da prove in situ; i risultati ottenuti hanno spesso una validità locale e mal si prestano a valutazioni di carattere più generale. I modelli prendono in genere in considerazione profili topografici ben definiti e senza particolari anomalie, quali terrazzi, assenza di ostacoli (es. alberi) e non prendono in considerazione la geometria del blocco in esame (forma e sfericità).

Pertanto la risposta corrisponderà a quella attesa nel caso che le condizioni naturali siano poco dissimili a quella del modello mentre ci dovremo attendere scarsi risultati nel caso in cui l'ambiente reale sia mal rappresentato dal modello adottato. In sostanza, nel caso di differenze dovute ad una serie di fattori morfologici ed ambientali, ci si potrà attendere risultati migliori con un metodo meno raffinato che consenta una parametrizzazione sulla base di osservazioni di reali percorsi di blocchi sul territorio (Mazzoccola & Sciesi, 2000; Focardi & Iotti, 2002; Francioso & Schiattarella, 2002; Chierusin & Fenti, 2002; Crosta & Locatelli, 1999; Baillifard et al., 2003).

E' evidente come le frane di crollo in roccia rappresentino dei fenomeni di dissesto piuttosto gravosi da un punto di vista tecnico, sia per la loro diffusione in diversi ambiti geografici e geomorfologici (scarpate montane, rilievi collinari, falesie costiere, ecc.) che per la complessità della loro analisi che può riguardare aspetti molto diversi, dalla valutazione dell'equilibrio geostatico dei blocchi alla previsione delle traiettorie di propagazione dei massi. Il processo infatti, pur essendo in apparenza riconducibile ad una schematizzazione piuttosto semplice dei meccanismi che lo governano, in realtà è complicato dal fatto che la definizione dei parametri che controllano i fenomeni di rottura ed evoluzione risente di un grado elevato di incertezza; spesso inoltre, l'ampia estensione delle aree coinvolte rende difficile raccogliere informazioni sufficienti per condurre analisi dettagliate. Anche la traiettoria di un masso in caduta dipende da una serie di fattori la cui incertezza risulta predominante, quali la localizzazione dell'area di distacco, le condizioni strutturali dell'ammasso in tale area, la geometria del masso, le proprietà meccaniche della roccia e del versante e la topografia (Ritchie, 1963), fattori, questi, difficili da verificare sul terreno e che non possono essere determinati con esattezza.

Per questo motivo la stabilità di un versante può essere valutata solo in modo probabilistico e le misure di protezione e di mitigazione del fenomeno devono essere legate alla determinazione della pericolosità, funzione dell'estensione delle aree coinvolte, dell'intensità del fenomeno e della probabilità di occorrenza.

[Digitare il testo]

Per ridurre il rischio associato al distacco di elementi lapidei da versanti sono utilizzate due tipologie di intervento: gli interventi attivi, che intervengono all'origine del problema provvedendo ad impedire il distacco degli elementi lapidei dal versante; gli interventi passivi, per intercettare, deviare o arrestare i massi in movimento. Solitamente si preferisce usare opere di tipo passivo, cioè interventi la cui funzione non è di prevenire il distacco dei massi ma di intercettare ed arrestare gli elementi lapidei ormai in moto sul pendio.

Capitolo II

Gli interventi di protezione da frane di crollo

2.1 Generalità

Il distacco e la caduta di masse rocciose da pareti e versanti costituisce uno dei maggiori rischi geologici al quale sono esposti persone ed infrastrutture di vario tipo, presenti in ambienti rupestri e montani.

Le opere di difesa dalla caduta dei massi hanno lo scopo di intercettare ed arrestare i blocchi in caduta lungo il versante. Per questo motivo è opportuno che gli interventi vengano realizzati lungo il percorso dei blocchi o in corrispondenza dei punti di maggior criticità del pendio.

Per il dimensionamento di una qualsiasi opera di difesa sono quindi indispensabili accurate indagini geognostiche del versante e analisi traiettografiche dei potenziali corpi di caduta.

Si devono aggiungere inoltre fattori di carattere economico e logistico, che possono essere sintetizzati come segue:

- Importanza economica del bene da proteggere (natura, valore, vulnerabilità);
- Costi di intervento, legati all'accessibilità del sito, alla messa in opera, alla manutenzione, all'approvvigionamento dei materiali;

[Digitare il testo]

- Fattori ambientali relativi all'impatto visivo dell'opera e alla modifiche che essa apporta al territorio in cui viene collocata;
- Fattori legati alla vincolistica dell'area di studio.

Prima di entrare nel dettaglio delle barriere paramassi, è opportuno fare una panoramica delle tipologie di interventi di protezione dalla caduta massi, considerando anche che l'installazione di barriere (in particolare quelle deformabili ad alta resistenza) non è sicuramente il metodo più economico per contrastare il problema.

2.2 Tipologie di interventi

In letteratura troviamo numerose classificazioni in merito alle diverse tipologie di interventi, ma le più diffuse sono quelle che distinguono gli interventi in:

- Opere ATTIVE: intervengono all'origine del problema provvedendo ad impedire il distacco degli elementi lapidei dal versante;
- Opere PASSIVE: intercettano o deviano i massi che si siano mobilizzati con interventi localizzati prevalentemente alla base dei pendii o delle pareti rocciose.

Tra gli interventi di difesa attiva possiamo elencare:

- Interventi che modificano la geometria del versante;
- Interventi che modificano la resistenza meccanica;
- Interventi che modificano le condizioni piezometriche;
- Interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso roccioso per proteggerlo contro l'alterazione.

Le difese di tipo passivo si distinguono invece in:

- Riprofilatura del versante con la creazione di berme intermedie;

[Digitare il testo]

- Installazione di barriera paramassi a rete con diverse tecnologie di smorzamento dell'energia cinetica dei blocchi;
- Muri di protezione;
- Gallerie artificiali;
- Trincee;
- Rilevati in terra (rinforzata o non rinforzata), scogliere, terre armate, muri cellulari;
- Reti in aderenza e rafforzamenti corticali.

2.2.1 *Sistemi di difesa attiva*

2.2.1.1 *Interventi che modificano la geometria del versante:*

Lo scopo di una variazione della geometria di un fronte di scavo o di un fronte naturale è la riduzione delle forze instabilizzanti e/o l'eliminazione di volumi di roccia instabili di varia grandezza.

Gli interventi di questo tipo sono:

- La riprofilatura di un versante intero (con rimodellazione con l'uso di esplosivo o abbattimento meccanico);
- La rimozione di singoli grandi volumi rocciosi instabili mediante operazioni manuali;
- Il disgaggio sistematico di piccoli elementi rocciosi (intervento tra i più diffusi).

La riprofilatura di un versante richiede un'attenta valutazione delle forze instabilizzanti agenti sui cinematismi generati dalle discontinuità, controllando che esse siano ridotte aumentando adeguatamente il coefficiente di sicurezza e che la geometria risultante sia stabile a lungo termine.

Il disgaggio dalle pareti rocciose di blocchi di varia grandezza consiste nella rimozione di elementi instabili o potenzialmente instabili presenti in parete, al ciglio, o accumulatisi nelle berme intermedie.

[Digitare il testo]

Queste due tipologie di intervento nei casi più semplici possono essere eseguiti manualmente (Figura 1) ma se la situazione è più gravosa (grossi volumi di roccia da rimuovere o pendii particolarmente acclivi) necessitano dell'utilizzo di mezzi di operazione meccanici o di esplosivi (figura 2).

In questo ultimo caso la progettazione dell'intervento deve essere molto accurata, al fine di dimensionare correttamente sia il tipo e la quantità dell'esplosivo impiegato sia le modalità di brillamento delle cariche. L'uso di ridotti quantitativi di esplosivo per carica è fondamentale per ridurre quanto più possibile le vibrazioni sulle pareti circostanti, nonché evitare un'ulteriore destabilizzazione del versante.



Figura 8 - Operazione di disaggio manuale



Figura 9 - Abbattimento con esplosivo

2.2.1.2 Interventi che modificano la resistenza meccanica del versante:

Il principio di base di questa tipologia di interventi è l'inserimento nel volume roccioso instabile di elementi esterni che contribuiscono ad aumentarne la stabilità. La scelta dell'elemento di sostegno dipende dalle caratteristiche geomeccaniche e dal livello di instabilità del versante, ma in generale si può affermare che questo tipo di interventi è consigliabile nel caso in cui l'ammasso roccioso abbia un elevato grado di fessurazione interna.



Figura 10

In tal caso infatti, attraverso l'inserimento di *chiodi* (Figura 3), *bulloni*, o *tiranti*, la forza destabilizzante che si sviluppa sulla superficie di discontinuità a causa dello scivolamento verso valle del volume critico viene equilibrata. Si può ricorrere anche ad *iniezioni* nell'ammasso roccioso di miscele appositamente realizzate (sospensioni, soluzioni, emulsioni) che ripristinano la continuità materiale in corrispondenza dei vuoti aumentandone la resistenza meccanica.

Un'ulteriore metodologia di difesa contro l'instabilità dei blocchi lapidei è la realizzazione di una copertura superficiale di *calcestruzzo spruzzato* (*Spritz Beton*), che impedisce il distacco dei volumi instabili e costituisce una protezione contro gli agenti atmosferici.

L'utilizzo di "spritz beton" rappresenta un sistema efficace che comporta tuttavia un forte impatto visivo nel contesto dell'ambiente, naturale o urbano, circostante.

Interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso roccioso per proteggerlo contro l'alterazione

Come noto gli agenti atmosferici rappresentano un elemento destabilizzante nei confronti dell'equilibrio di un versante roccioso, e per questo anche un pendio in condizioni

[Digitare il testo]

geostatiche non preoccupanti può venire a trovarsi in condizioni critiche se particolarmente esposto a gli agenti atmosferici.

Le opere di protezione dall'alterazione sono messe in opera principalmente per tre obiettivi:

- Porre l'infiltrazione ed il ruscellamento delle acque meteoriche sotto controllo tramite impermeabilizzazioni superficiali, rivegetazione della superfici dell'ammasso o costruzione di sistemi drenanti, di raccolta e smaltimento delle acque;
- Impedire o limitare l'azione degli agenti esterni quali vento, pioggia e gelo mediante impermeabilizzazioni, protezione con manto naturale di vegetazione o protezione con manto artificiale (per esempio usando calcestruzzo proiettato);
- Impedire l'innescò di fenomeni di rottura progressiva dalla superficie verso l'ammasso, con l'uso di reti in aderenza ad anelli oppure maglia esagonale, sia semplici sia doppia trazione, eventualmente rinforzate con reticolo di fune, o anche con reti in pannelli di fune, calcestruzzo proiettato (semplice o fibrorinforzato) o interventi di chiodatura diffuse.



Figura 4 – Rivestimento in rete semplice

Le reti in aderenza (Figura 4) a maglia esagonale, semplici o a doppia trazione, sono le opere più diffuse, malgrado non esistano linee progettuali complete che forniscano metodologie in grado di valutare l'effettivo aumento del fattore di sicurezza: alcuni metodi di calcolo sono in fase di sviluppo.

[Digitare il testo]



Figura 5 – rete rinforzata

Le reti sono usate essenzialmente per guidare piccoli blocchi di roccia verso il piede del pendio, ed evitarne il crollo sulle vie di transito. In questo senso svolgono un ruolo di tipo passivo; quando invece la rete metallica viene ancorata saldamente al versante in più punti e posta in tensione, essa contribuisce anche ad evitare ulteriori distacchi di porzioni rocciose, svolgendo così una funzione attiva. In questo caso si parla di *rafforzamenti corticali*(Figura 5).

2.2.1.3 Interventi che modificano le condizioni piezometriche

L'acqua presente all'interno dell'ammasso roccioso è un fattore particolarmente rilevante a riguardo dell'instabilità. E' ben noto infatti che la resistenza a taglio di un materiale (terroso o roccioso) può essere espressa tramite la legge di *Mohr-Coulomb*:

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi$$

dove:

τ = resistenza al taglio;

σ' = tensione efficace;

ϕ = angolo di attrito interno

c = coesione

La tensione efficace è connessa alla pressione dell'acqua presente nelle cavità interstiziali dell'ammasso secondo la legge:

[Digitare il testo]

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma' + u$$

dove:

σ_{tot} = pressione totale;

u = pressione neutra

Di conseguenza ad un aumento del flusso idrico interno corrisponde un incremento delle pressioni idriche interne, quindi un decremento delle tensioni efficaci che provocherà una diminuzione della resistenza al taglio del materiale.

Gli interventi di drenaggio si possono suddividere in due gruppi principali:

- opere di drenaggio di tipo superficiale
- opere di drenaggio di tipo profondo

I drenaggi di tipo superficiale, sono quelli di più rapida e facile installazione e manutenzione, ma sono anche quelli che più facilmente si danneggiano e necessitano di manutenzione continua.

I drenaggi profondi, che in genere hanno un carattere definitivo, necessitano di opere e di attrezzature più complesse per la loro installazione e sono più costosi. A fronte di questi svantaggi assicurano però una maggiore efficacia nella stabilizzazione di versanti in frana. In considerazione del fatto che è spesso difficile valutare l'efficacia di un sistema di drenaggio in fase di progettazione, è prassi consolidata valutare gli effetti del sistema attraverso piezometri che fanno parte integrante del sistema stesso e sono installati contemporaneamente ad esso. La loro lettura periodica consente di valutare i riflessi del sistema di drenaggio sulle acque sotterranee e, in base a questi, ottimizzare il loro funzionamento.

I tipi di opere di drenaggio superficiali e profondi (figura 6) più comunemente usati sono rappresentati da :

- Opere di drenaggio superficiali: canalette, fossi di guardia, dreni, speroni drenanti, cunei drenanti, paratie drenanti;

[Digitare il testo]

- Dreni sub orizzontali;
- Pozzi drenanti;
- Trincee drenanti;
- Gallerie drenanti;

La scelta della tipologia di intervento dipende esclusivamente dalla gravità della situazione (quindi dalla portata d'acqua che è necessario espellere), e dalle condizioni geomorfologiche del versante.

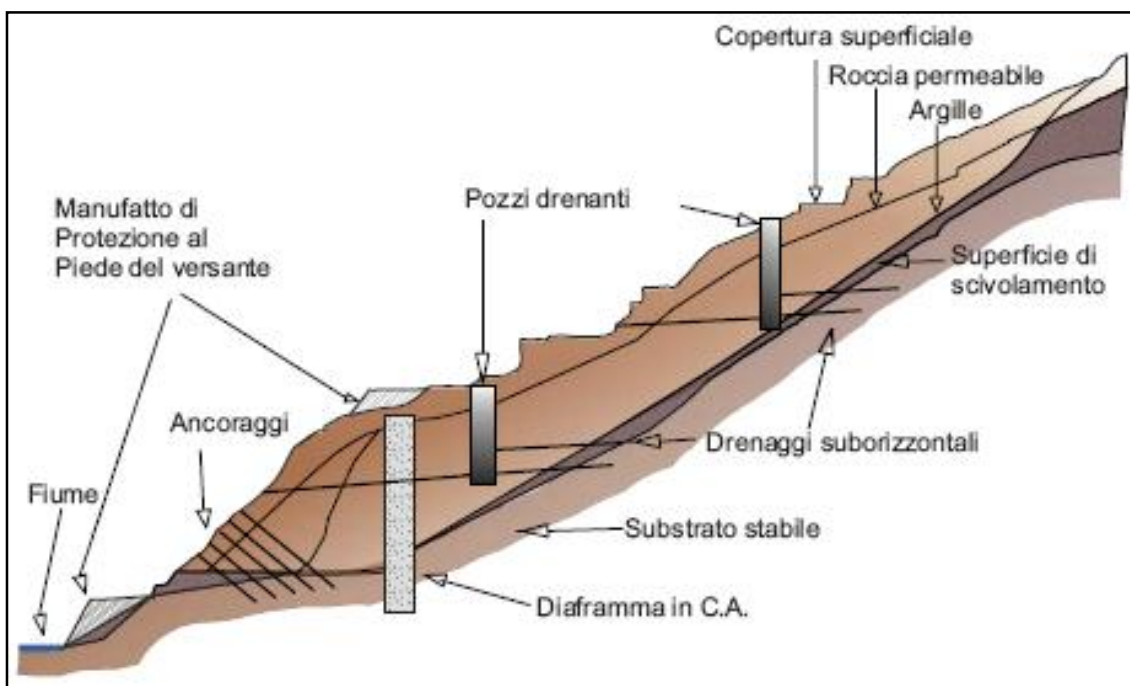


Figura 6 - Sistemazione e consolidamento di un versante in frana mediante opera di drenaggio superficiali e profonde

2.2.2 Sistemi di difesa passiva

Come ormai noto gli interventi di tipo passivo hanno come funzione principale quella non di prevenire il distacco dei massi ma di intercettare ed arrestare gli elementi lapidei ormai in moto sul pendio. Possiamo distinguere tre fondamentali tipi di intervento:

[Digitare il testo]

- Valli e rilevati paramassi
- Gallerie paramassi
- Barriere paramassi

I *valli* e i *rilevati paramassi* sono fra i metodi di difesa passiva più efficaci ed economici oggi a disposizione. Il rilevato (figura 7) è costituito da un terrapieno a sezione trapezia realizzato con materiale grossolano, incoerente, proveniente dallo scavo del vallo o reperibile in zona. Il sistema può essere, completato da uno scavo sagomato (vallo), posto immediatamente a monte dello stesso. Il vallo, il cui fondo è ricoperto da uno strato di materiale sciolto assorbente, assolve la duplice funzione di smorzare l'energia cinetica dei massi e dei blocchi prima che questi raggiungano le pareti del rilevato, e di raccogliere il materiale detritico intercettato. Sulla sommità del rilevato è spesso installata una barriera elastica paramassi (rete metallica)(figura 7) la cui funzione è quella di intercettare frammenti rocciosi o piccoli massi che potrebbero superare la struttura difensiva.



Figura 7- Esempio di rilevato paramassi in terra rinforzata e di rilevato paramassi con barriera

Le *gallerie artificiali* (figura 9) sono opere utilizzate nelle zone dove non sono realizzabili altre forme di protezione più economiche,



Figura 9 - esempio di galleria paramassi

[Digitare il testo]

soprattutto dove è necessario proteggere infrastrutture viarie o ferroviarie di particolare importanza. Sono generalmente realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera o in elementi prefabbricati in calcestruzzo ad alta resistenza.

Il lato valle della struttura è aperto ed è formato dai pilastri di sostegno della volta, mentre sul lato monte a contatto con la parete viene realizzato un muro di controripa. Molto spesso sulla copertura della galleria è posto uno strato di materiale detritico che, oltre a favorire lo sviluppo della vegetazione spontanea, ha la funzione di assorbire gli impatti di grossi blocchi e massi, caduti o rotolati giù dalle scarpate, che potrebbero causare gravi danni alla struttura della volta. Nelle zone dove questo rischio è più elevato, la galleria è completata dalla realizzazione, sul versante a monte, di barriere elastiche paramassi.

2.3 Le barriere paramassi

Le barriere paramassi a rete si collocano tra gli interventi di difesa passivi e stanno diventando l'intervento più frequentemente utilizzato, questo grazie alla notevole evoluzione tecnologica dovuta ad una maggiore attenzione degli studiosi ai problemi di carattere progettuale e costruttivo. Esse possono essere installate anche in versanti molto inclinati, ed i livelli energetici di applicazione vanno da 100kJ a 5000kJ.

In funzione del loro comportamento fisico, dei materiali e delle modalità costruttive si possono distinguere due tipi principali di strutture: *barriere paramassi rigide* e *barriere paramassi elastiche*.

Le prime (Figura 10) sono strutture poco deformabili, pesanti e di grandi dimensioni, capaci di opporsi con notevoli forze resistenti agli impatti. Il loro dimensionamento tiene conto in fase di progettazione della sollecitazione dinamica indotta dall'impatto di un "masso di progetto". Generalmente sono realizzate in calcestruzzo armato, con o senza contrafforti, opportunamente ancorati al terreno stabile con micropali o tiranti di ancoraggio. Al disopra dei muri, nei punti più critici, spesso è installata una barriera semi-rigida formata da pannelli di elementi metallici o da reti metalliche.



Figura 10 - barriera paramassi rigida

Le *barriere paramassi elastiche* (Figura 11; Figura 12) sono strutture deformabili, leggere con elementi altamente resistenti, formati da materiali di alta qualità e durata. La leggerezza della struttura, la semplicità, la rapidità di installazione e di manutenzione, consentono di eseguire l'intervento anche in zone montuose di difficile accessibilità.

In funzione delle tipologie costruttive e dei materiali impiegati, le barriere elastiche possono presentare varie configurazioni quali:

- barriere formate da reti flessibili (a bassa deformabilità) installate su strutture di sostegno rigide tipo muri in c.a. o di altro tipo (figura 11).
- barriere formate da pannelli di reti flessibili d'acciaio, con sostegni (montanti) ed elementi di rinforzo (tiranti d'ancoraggio) infissi direttamente nel terreno o sulla sommità di terrapieni o di strutture di sostegno di vario tipo (ad esempio muri in gabbioni)(figura 12).

[Digitare il testo]



Figura 11 - Esempio di barriera paramassi a bassa deformabilità



Figura 12- Esempio di barriera paramassi ad alta deformabilità

2.3.1 Caratteristiche costruttive delle barriere paramassi a rete

L'arresto dei massi comporta che la barriera possa deformarsi. La capacità di arresto è determinata dalle caratteristiche di resistenza e deformabilità degli elementi che la costituiscono (reti, montanti, funi, ancoraggi, dissipatori di energia) e delle connessioni tra questi. Le barriere infatti vengono generalmente classificate sulla base dell'energia limite assorbibile durante la fase d'impatto, vale a dire del lavoro (elastoplastico e attritivo) connesso all'arresto dei massi.

E' generalmente composta da:

- a) Una struttura di intercettazione, solitamente costituita da reti di funi d'acciaio, con maglie di forma quadrata, romboidale (figura 13) o circolare (figura 14) che ha la funzione di sostenere l'urto diretto del masso, di deformarsi elasticamente con spostamenti dello stesso ordine di grandezza della sua altezza, e trasmettere in modo uniforme le sollecitazioni alla struttura di collegamento, alla struttura di supporto ed alla struttura di fondazione. Le reti sono formate da funi di reti metalliche di diverso tipo e fattura. Alla rete principale spesso viene sovrapposta una maglia ad intreccio più fine il cui scopo è quello di arrestare il moto di piccoli elementi lapidei che potrebbero passare attraverso la maglia principale.



[Digitare il testo]

- b) Una struttura di supporto (Figura 15), generalmente costituita da travi o tubi d'acciaio a profilo aperto o chiuso, denominati montanti, che ha la funzione di sostenere l'intera struttura e di mantenere dispiegata la rete che per sua natura non è rigida. In generale si possono distinguere due tipologie di montanti:
- Montanti che hanno lo scopo di mantenere le reti dispiegate ed il cui collasso non implica che la barriera non svolge la funzione di intercettazione, una volta che il blocco sia stato "incassato" dalla rete. Tali montanti non hanno quindi una rilevante funzione statica durante la fase di arresto del blocco ma devono essere in grado di mantenere la barriera in posizione per impatti ad energie minori alla capacità limite della struttura. Occorre infatti precisare che le barriere devono essere in grado di mantenere la loro operatività anche per impatti multipli di entità minore alla capacità massima della barriera.
 - Montanti la cui funzione statica è indispensabile al funzionamento della barriera e che oltre a mantenere la rete dispiegata trasmettono una parte degli sforzi conseguenti l'impatto alle opere di fondazione.



Figura 15 - Particolare della testa di un montante

[Digitare il testo]

- c) Una struttura di collegamento, generalmente costituita da funi d'acciaio, disposta sia perpendicolarmente che longitudinalmente rispetto alla superficie di intercettazione che ha la funzione di trasmettere le sollecitazioni alla struttura di fondazione. Per favorirne la deformabilità spesso vengono installati su questa struttura dei dispositivi che ne consentono un allungamento controllato denominati freni o dissipatori d'energia (Figura 16). Questi sono realizzati per equilibrare le forze agenti sulla struttura e per trasformare al momento dell'impatto parte della energia cinetica del masso in lavoro plastico (con conseguente deformazione permanente). Devono essere dimensionati e disposti sulla struttura sulla base di un progetto che ne chiarisca la funzione prevalente, la forza di attivazione, la corsa consentita ed il comportamento in campo di sollecitazione dinamico.



Figura 16 - Alcune esempi di freni presenti in commercio

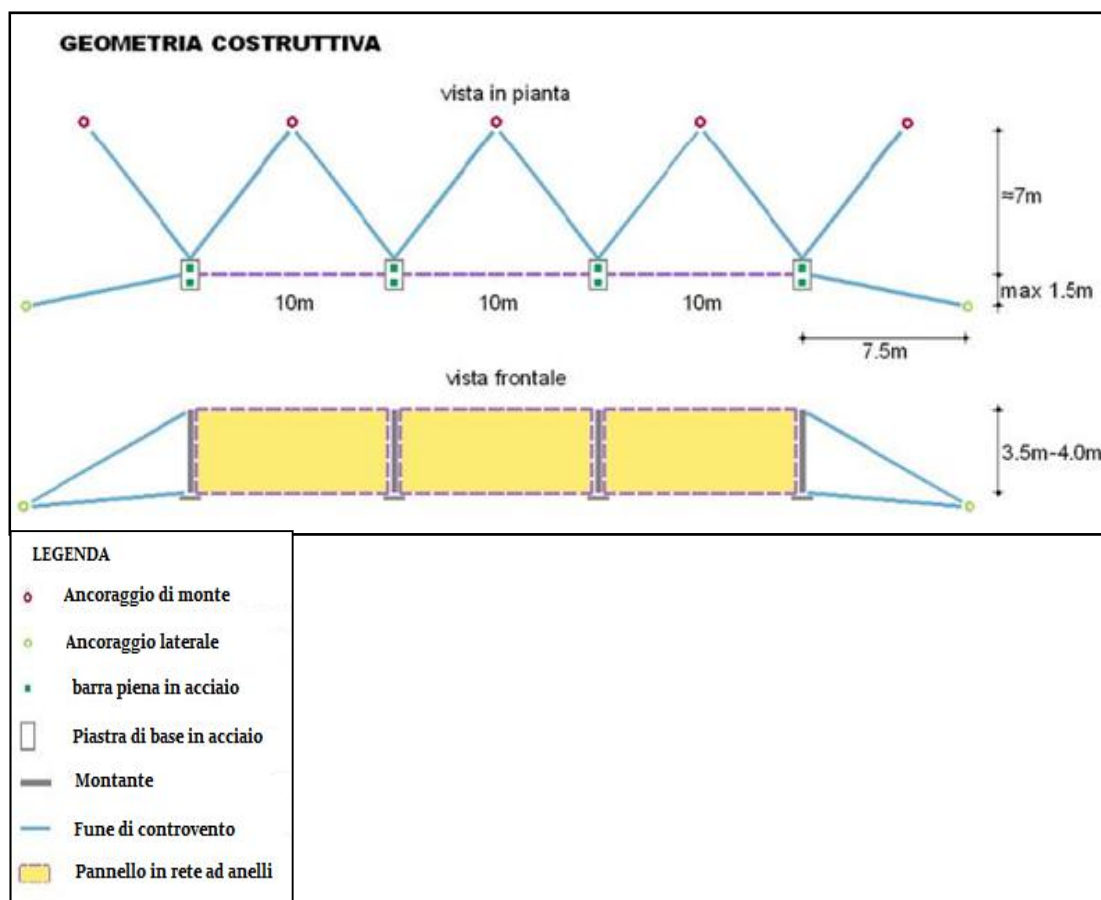
- d) Una struttura di fondazione (Figura 17), generalmente costituita da tiranti in barra o trefolo o da plinti in calcestruzzo, che hanno la funzione di trasmettere al terreno le forze derivanti dall'impatto del blocco all'intorno della struttura di intercettazione. Devono resistere alle sollecitazioni sia in campo plastico che in campo dinamico, e devono essere adattati in dimensione e direzione, alle caratteristiche del terreno sulla base di un progetto geotecnico specifico.

[Digitare il testo]



Figura 17 - fondazione con plinto in calcestruzzo

Di seguito è riportata l'immagine della geometria costruttiva di una barriera.



Poiché la classificazione, basata sui principi operativi con le quali le barriere sono progettate per arrestare i blocchi, è piuttosto difficile stante la grande varietà degli assemblaggi

[Digitare il testo]

proposti in commercio, queste devono necessariamente essere basate su una classificazione fondata sulla capacità energetica nominale della barriera sottoposta ad un impatto standard. Sulla base della capacità nominale misurata su prove standard è quindi possibile classificare le barriere in classi energetiche di funzionamento, e dedurre tutte le informazioni necessarie al progetto geotecnico delle fondazioni.

2.3.2 *Le linee guida ETAG*

La recente approvazione e conseguente pubblicazione sul sito dell'EOTA ("European Organization for Technical Approvals") della linea guida ETAG 27: "Guideline for European technical approval of falling rock protection kits" ha profondamente innovato il settore delle opere di protezione contro la caduta massi avendo uniformato a livello europeo le procedure e le prove che devono essere effettuate per l'ottenimento della marcatura CE di una barriera paramassi a rete. Poiché la marcatura è un obbligo di legge da rispettare in maniera cogente senza la quale un prodotto non può essere posto sul mercato, è evidente come questa linea guida venga a costituire uno spartiacque importante tra un periodo nel quale le prove, anche quelle in vera grandezza, erano volontarie e non normalizzate ed un periodo nel quale tutti i produttori dovranno necessariamente ottemperare alle prescrizioni previste nella linea guida.

La linea guida si applica alle barriere paramassi a rete ("Falling rock protection kit") considerate nel loro insieme, cioè un sistema di elementi costituenti che devono essere posti sul mercato in modo congiunto e contestuale, con una sola marcatura CE, montati in sito e diventare così un "sistema assemblato" in opera.

Le linee guida considerano come kit base quello costituito da non meno di tre moduli funzionali (3FM). Per 3FM s'intendono 3 campate di barriera in rete con 4 montanti. L'interasse tra i montanti non è fisso, e sarà scelto dal produttore.

Un kit paramassi (Figura 18) è costituito da:

- a) una struttura d'intercettazione con la funzione di sopportare l'impatto diretto della massa, deformandosi elasticamente e/o plasticamente e trasmettendo lo sforzo alle parti di collegamento, alla struttura portante e alle fondazioni;

[Digitare il testo]

- b) una struttura di sostegno con la funzione di mantenere dritta (non piegata) la struttura d'intercettazione, che per natura non è rigida. Può essere collegata alla struttura d'intercettazione direttamente o tramite una struttura di raccordo.
- c) elementi di raccordo, avente la funzione di trasmettere lo sforzo alle fondazioni. Per consentire la deformazione, possono essere montati sulla struttura dispositivi permettano un allungamento controllato.

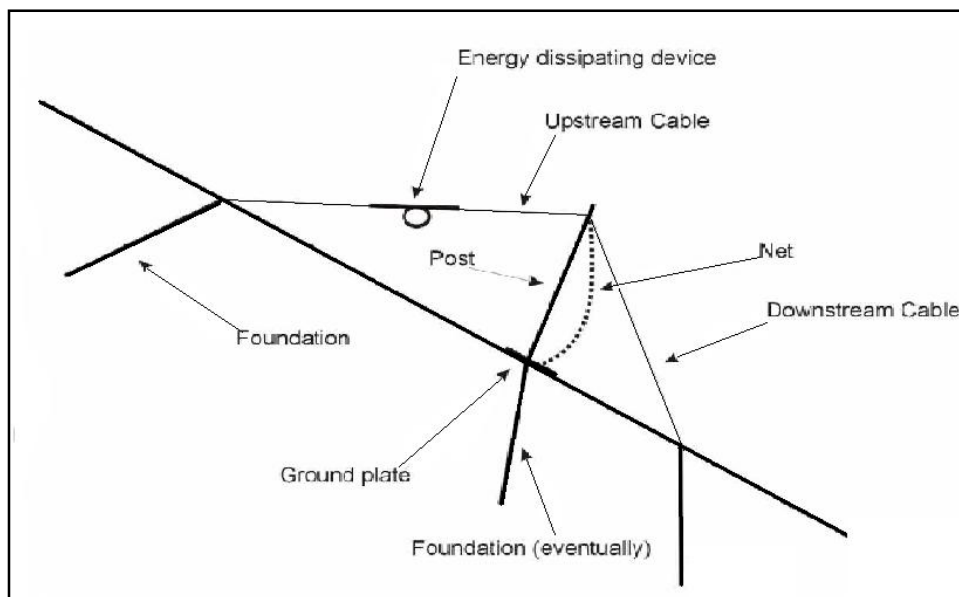
Le fondazioni non sono considerate parti integranti del kit quindi devono essere dimensionate a parte dal progettista.



Figura 18 - crash test su kit paramassi

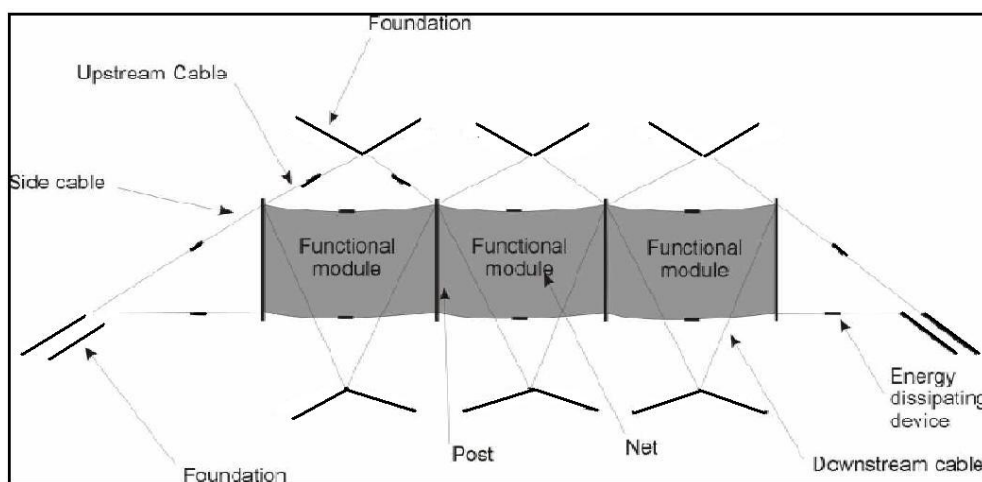
Gli schemi successivi (Figure 19 e 20) forniscono un esempio di kit e illustrano in termini generali i diversi componenti che lo costituiscono.

[Digitare il testo]



Dispositivo
dissipazione
Montante
Cavo di monte
Rete
Cavo di valle
Fondazione
Fondazione
(eventuale)
Placca di fondo

Figura 19- vista alterale di un kit paramassi



Cavo di monte
Fondazione
Dispositivo
dissipazione
energia
Cavo di valle
Rete
Palo
Fondazione

Figura 20 - Vista posteriore di un kit paramassi

[Digitare il testo]

2.3.2.1 Certificazione delle barriere paramassi

Al fine di certificare che la barriera è adatta all'uso ("fitness for use") cioè che è in grado di soddisfare i requisiti essenziali per l'intera sua vita utile, se regolarmente mantenuta, nella linea guida vengono definiti gli elementi che consentono "l'assessment of fitness for use".

Nel caso specifico delle barriere paramassi questi sono l'*energia* che una barriera è in grado di assorbire quando sottoposta ad un impatto normalizzato di un blocco in movimento, arrestandolo e rispettando alcune specifiche geometriche e funzionali dopo e durante l'impatto. Vengono quindi definiti due differenti livelli energetici:

- **SEL** "Service Energy Level"
- **MEL** "Maximum Energy Level" che deve essere pari a 3 volte l'energia del SEL.

Perché la barriera possa essere marcata CE, questa deve essere stata provata ad entrambi i livelli energetici secondo le modalità e le procedure descritte in dettaglio nella linea guida.

La seguente tabella classifica le barriere sulla base dei livelli energetici.

LIVELLO ENERGETICO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL [kJ]	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL [kJ] ≥	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

2.3.2.2 Procedura di prova

Prima di entrare nello specifico introduciamo alcune definizioni chiave:

Livello di energia: è l'energia cinetica di un blocco regolare impattante la barriera in rete considerata. Viene espresso in SEL (Livello di energia in servizio) e MEL (Massimo livello di energia).

Pendenza di riferimento: è quella a valle del kit steso nella medesima direzione fino al suo massimo allungamento. Questa pendenza è almeno parallela alla traiettoria del blocco

[Digitare il testo]

nell'ultimo metro precedente all'urto nel sito di prova. E' ammessa una tolleranza del 20% in più o in meno.

Altezza nominale: h_N (figura 21) è misurata ortogonalmente alla pendenza di riferimento ed è la distanza minima tra la fune superiore e la linea che congiunge le basi dei montanti, prima dell'urto. Il produttore può introdurre nel nome commerciale del prodotto anche un'altezza commerciale (in genere l'altezza nominale più una tolleranza). Quest'altezza commerciale non fa parte della verifica.

Allungamento del kit: è lo spostamento verso valle durante l'urto misurato parallelamente alla pendenza di riferimento.

Tempo di frenata: è il tempo che intercorre tra il primo contatto del blocco con la rete e il momento in cui, in corso di prova, avviene il massimo allungamento della rete.

Altezza residua: h_R (figura 22) è la distanza minima tra la fune inferiore e quella superiore, misurata ortogonalmente alla pendenza di riferimento dopo la prova, senza rimuovere il blocco.



Le prove che consentono la certificazione delle barriere prevedono l'esecuzione di impatti di un blocco normalizzato (vedi figura a lato), con dimensione non inferiore ad un terzo dell'altezza della barriera e che si muova ad una velocità non inferiore a 25m/s, sulla campata centrale di una barriera composta da tre campate. La prova può essere eseguita in qualunque tipologia di campo prove (verticale o inclinato) in quanto nelle linee guida vengono esclusivamente imposti dei vincoli geometrici in merito alla traiettoria del blocco impattante rispetto all'orizzontale ed alla geometria del piano di riferimento di valle (che viene utilizzato per le misurazioni geometriche durante e dopo la prova) (Figura 23).

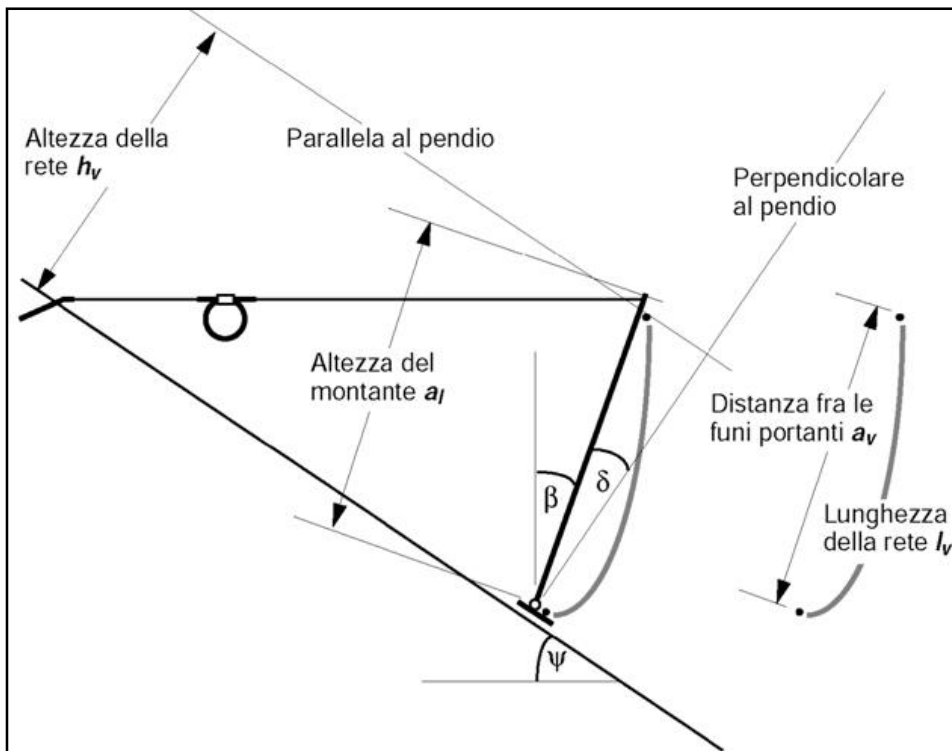


Figura 21 - Definizione degli angoli e delle misure

Nel caso del livello energetico SEL, la linea guida prevede l'esecuzione di due impatti consecutivi allo stesso livello energetico. La prova viene considerata superata se: dopo il primo impatto il blocco è arrestato dalla barriera, non sono registrate rotture nella struttura di connessione cioè delle funi, non si sono creati varchi nella rete con dimensione superiore a due volte la dimensione originaria della maglia elementare e l'altezza residua della barriera (definita come la distanza tra la fune longitudinale superiore e inferiore nel centro del pannello che ha subito l'impatto, misurata prima di togliere il blocco dalla rete e facendo riferimento al piano di riferimento di valle) è superiore al 70% dell'altezza della barriera nella configurazione di installazione nel campo prove ("altezza nominale") (Fig. 19).

Dopo il secondo impatto l'unica condizione che deve essere rispettata è che la barriera arresti il blocco. Durante la fase di impatto e di seguente deformazione il blocco non deve toccare il terreno fino al raggiungimento della massima deformazione.

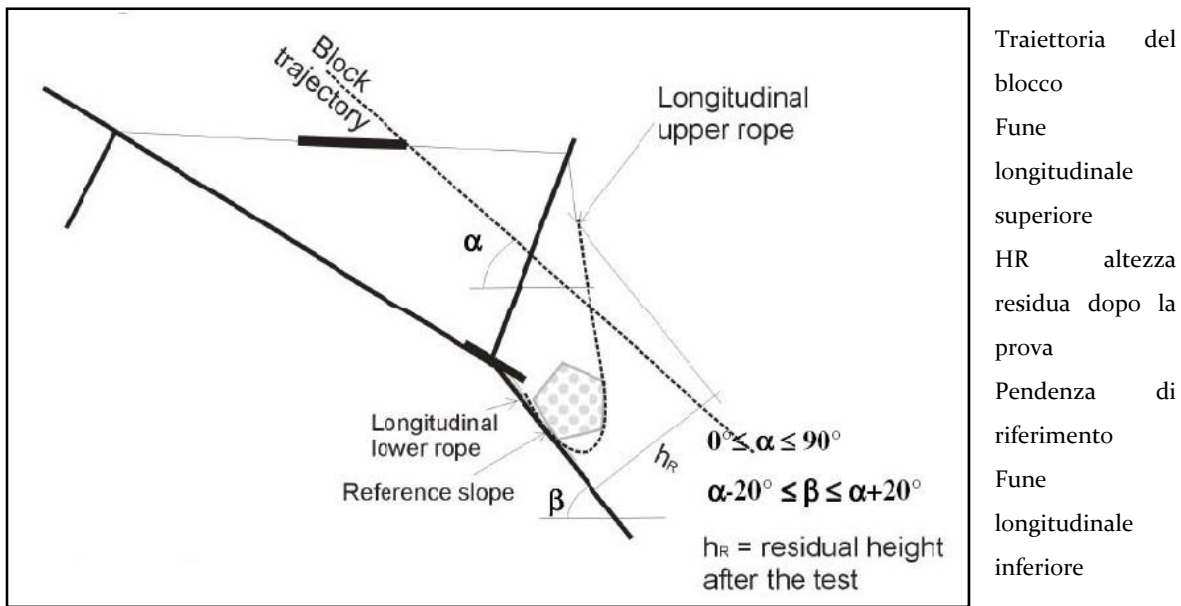


Figura 22 - Prova SEL, altezza residua

Per il livello energetico MEL, la linea guida prevede l'esecuzione di un impatto contro la barriera al livello energetico previsto. La prova viene considerata superata se il blocco viene arrestato dalla barriera, anche in questo caso senza toccare il piano di riferimento a valle della barriera nel campo prove.

Durante la prova MEL deve essere misurata anche la massima elongazione verso valle della barriera che costituisce un importante parametro progettuale (Fig. 23) in quanto costituisce il parametro di riferimento per il corretto posizionamento della barriera in relazione alla distanza dall'infrastruttura da proteggere. Anche l'altezza residua della barriera dopo la prova MEL deve essere misurata e viene utilizzata per introdurre tre ulteriori classi all'interno di ogni livello energetico:

- classe A se l'altezza residua dopo la prova MEL è superiore al 50% dell'altezza nominale della barriera nel campo prove;
- classe B se l'altezza residua dopo la prova MEL è compresa tra il 50% ed il 30% dell'altezza nominale della barriera nel campo prove;
- classe C se l'altezza residua dopo la prova MEL è inferiore al 30% dell'altezza nominale della barriera nel campo prove.

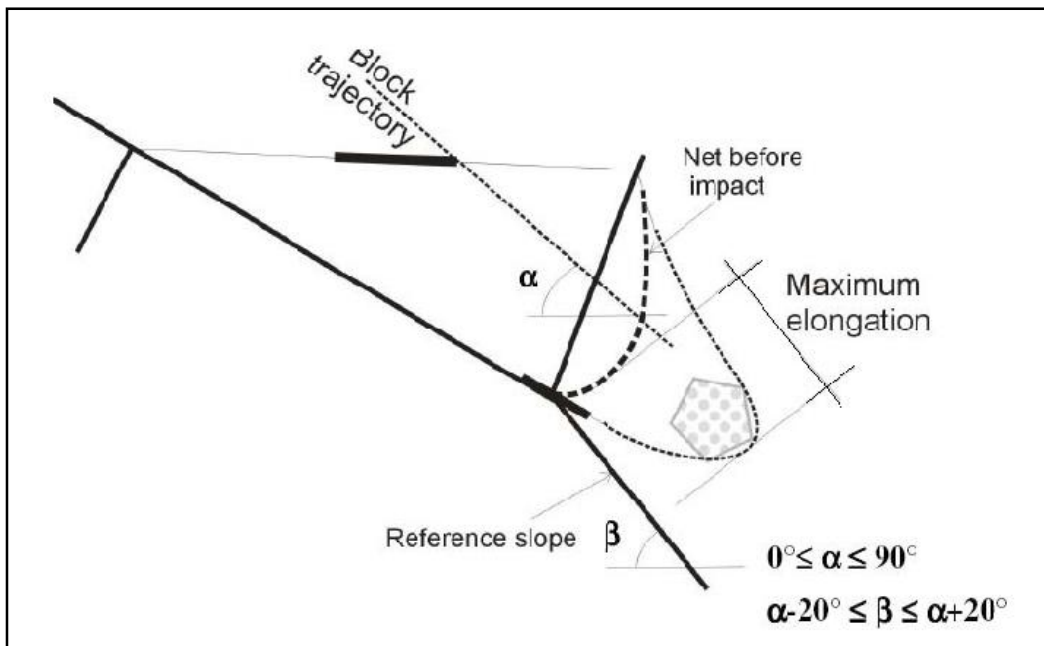


Figura 23- Definizione della massima elongazione nella condizione di prova MEL

Da quanto precedentemente detto è evidente che la procedura di certificazione e le prove previste nell'ETAG 27, sinteticamente descritte, consentono un'ottima caratterizzazione del prodotto "barriera paramassi" e normalizzano in modo molto efficace le procedure di prova che devono essere effettuate per certificare la capacità di assorbimento energetico di questi prodotti.

La scelta della tipologia più idonea di una barriera paramassi deve basarsi sulle caratteristiche prestazionali definite nell'ETAG 027.

Si deve analizzare quale delle seguenti ipotesi è valida per il caso in esame:

- crollo di un masso isolato
- crollo di uno sciame di blocchi
- il crollo si esplica in condizioni temporali tali da poter essere considerato come un unico evento,
- si verificano crolli ripetuti, concentrati in tempi ristretti, lungo la stessa direttrice.

Se sono possibili eventi ripetuti e distinti nel tempo ad alti livelli energetici, si potrà considerare di installare più allineamenti sub-paralleli di barriere e la progettazione, sotto

[Digitare il testo]

queste ipotesi di partenza, deve fare riferimento al livello energetico MEL, al quale andrà applicato un adeguato fattore di sicurezza.

Il livello energetico SEL consente invece di verificare che il sistema di intercettazione sia in grado di intervenire efficacemente anche per controllare eventi di minore entità rispetto a quelli indotti dal blocco di progetto, ma con maggior frequenza di accadimento, senza che sia necessario, realizzare, tra un evento e l'altro, importanti interventi di ripristino o di manutenzione. Nel caso di versanti soggetti a crolli frequenti di blocchi di dimensione medio piccola che si manifestano lungo la stessa direttrice, è possibile infatti seguire due differenti scelte progettuali: sia l'installazione di due allineamenti di barriere dimensionate al livello energetico MEL sia l'installazione di un solo allineamento, dimensionato, però, rispetto al livello energetico SEL che deve essere adeguato ad assorbire e controllare l'energia massima che i blocchi possono applicare.

In conclusione l'applicazione di questa linea guida per la marcatura CE non può che portare ad una facile comparabilità dei vari prodotti sottoposti ad impatti normalizzati definendo con chiarezza i livelli energetici ai quali possono essere utilizzati i vari prodotti e, nel contempo, fornendo informazioni assolutamente indispensabili per i progettisti.

Capitolo III

La valutazione del rischio

3.1 Generalità

Come già descritto nel capitolo precedente il fenomeno della caduta massi si pone con caratteristiche estremamente variabili in termini di ricorrenza ed intensità. Sebbene di norma coinvolgano volumi limitati rispetto ad altre tipologie di frana (Rochet, 1987; Evans e Hungr, 1993), i crolli sono caratterizzati da elevata frequenza, energia cinetica e mobilità. Inoltre, suscettibilità e ricorrenza temporale dei crolli sono difficili da valutare, in ragione della difficile caratterizzazione e dell'incertezza dei parametri in gioco (Cancelli e Crosta, 1993; Hungr *et al.*, 1999; Dussauge *et al.*, 2003; Crosta e Agliardi, 2003, 2004; Frattini *et al.*, 2007). Il problema della caduta massi nelle valli alpine attraversate da arterie di comunicazione e caratterizzate da fondovalle densamente popolati e da presenza di infrastrutture turistiche è particolarmente rilevante. In tali contesti, l'esigenza di nuove aree di espansione determina una sempre maggiore interferenza tra attività umane e settori a rischio. Pertanto, l'analisi e la mitigazione dei rischi connessi a fenomeni di crollo in roccia sono questioni di grande importanza per tecnici, politici e responsabili di Protezione Civile (Cancelli e Crosta, 1993; Fell e Hartford, 1997; Crosta e Agliardi, 2003). Per queste ragioni negli ultimi anni si sono moltiplicati gli studi relativi a questo argomento, spaziando dall'analisi della cinematica vera e propria, allo studio della pericolosità con zonazione del rischio, alla progettazione delle opere di difesa più idonee.

I concetti di pericolosità e rischio sono stati codificati per la prima volta da Varnes e IAEG (1984) ed hanno subito nel corso degli anni successivi lievi modifiche da parte di autori nel tentativo di standardizzare terminologie spesso erroneamente interpretate ed utilizzate.

Infatti seppure negli ultimi anni i concetti di pericolosità e rischio siano stati al centro dell'attenzione di ricercatori, commissioni scientifiche ed amministratori, permangono incertezze riguardo il loro utilizzo e soprattutto sulla scelta dei parametri da utilizzare per la loro quantificazione. Spesso è stata proprio la diversa provenienza tecnico-scientifica dei

[Digitare il testo]

soggetti coinvolti nonché la natura stessa dei fenomeni a determinare una confusione a livello terminologico a cui ultimamente si è cercato di porre rimedio.

Attualmente le terminologie di riferimento sono quelle proposte dalle commissioni tecnico scientifiche dell'UNESCO (*"Commissione frane"* nell'ambito dell'*"International Association of Engineering Geology, IAEG"*).

Di seguito vengono riportati gli elementi che concorrono alla definizione del rischio.

3.2 Pericolosità

Secondo lo "United States Geological Survey" (USGS - Servizio Geologico degli Stati Uniti, 1977) deve essere considerato "pericolo geologico" qualsiasi processo o evento potenziale che costituisce una minaccia per la salute, la sicurezza ed il benessere di una collettività o per l'economia di una qualsiasi popolazione. Secondo questa definizione, però, un terremoto o una frana che accadono in un'area desertica non costituiscono pericolo geologico. Nel rapporto UNESCO di Varnes e IAEG (1984) viene ribaltato il concetto e la pericolosità (hazard) viene definita come "probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area".

Il cambiamento è netto: un fenomeno è pericoloso a prescindere dalla presenza dell'uomo o delle sue attività ed infrastrutture.

Questa definizione è stata largamente accettata e tutt'ora viene riportata da organismi come l'UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), ma presenta dei problemi a causa delle peculiarità delle frane rispetto ad altri fenomeni naturali, come i terremoti, ai quali la definizione meglio si adatta. L'aspetto più importante è che in tale definizione manca un riferimento alle dimensioni del fenomeno e all'intensità, che ne condizionano il comportamento e le potenziali conseguenze. In questo senso Einstein (1988) propone l'utilizzo del termine "danger", inteso come pericolo o intensità, per caratterizzare il fenomeno potenzialmente distruttivo e il termine "hazard" per dar conto della sua imprevedibilità: il pericolo comprende le caratteristiche meccaniche e geometriche del fenomeno, inclusa la sua localizzazione nello spazio, mentre la pericolosità non è altro che la probabilità di occorrenza del fenomeno.

[Digitare il testo]

E' evidente il tentativo di introdurre, nella valutazione della pericolosità, un parametro con il quale poter quantificare il potere distruttivo del fenomeno. Fell (1994) cerca di risolvere il problema presentando il concetto di magnitudo (intensità) e definendo la pericolosità come *prodotto della probabilità di occorrenza per la magnitudo*.

In Italia solitamente si fa riferimento a Canuti & Casagli (1996), che partendo dalla terminologia riportata nel rapporto UNESCO di Varnes (1984) propongono, per la pericolosità, la seguente definizione: "probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area"; viene espressa in termini di probabilità annua o di tempo di ritorno.

Uno studio di pericolosità di frana per una certa area deve essere in grado, quindi, di prevedere dove una frana avverrà, quanto sarà grande e veloce e quale sarà la sua ricorrenza temporale (TEMPO DI RITORNO), deve esprimere la probabilità che il fenomeno raggiunga un determinato punto dello spazio lungo la possibile direzione di propagazione del fenomeno stesso.

Per quanto riguarda i fenomeni franosi molti modelli previsionali riportati in letteratura si limitano normalmente a definire dove e con quale probabilità un determinato fenomeno può accadere, senza determinare esplicitamente i tempi di ritorno e l'intensità. In tal senso esistono in letteratura pochi tentativi di effettuare una determinazione completa della pericolosità (DRM 1988, 1990; Del Prete et al, 1992; Fell, 1994).

Da notare come tutte le definizioni sopra riportate incorporano tre concetti, fondamentali per la comprensione e per la valutazione della pericolosità:

- il concetto di localizzazione spaziale, cioè il "dove";
- il concetto di intensità o magnitudo, cioè il "quanto grande";
- il concetto di frequenza o ricorrenza, cioè "quando" ovvero "quanto spesso" (Cardinali et al., 2002).

Come è facilmente intuibile la suddetta valutazione è complessa: per prima cosa a causa della discontinuità "spaziale" e "temporale" degli eventi di versante. In secondo luogo per la difficoltà di riconoscere in modo esatto la causa che ha determinato l'innescò di un

[Digitare il testo]

determinato fenomeno; quasi sempre infatti si assiste alla coesistenza di più aspetti intimamente interconnessi, tra fattori di predisposizione e fatti scatenanti.

3.2.1 *Previsione spaziale*

Nella valutazione della componente spaziale della pericolosità, un aspetto di primaria importanza è legato alla scelta della scala di lavoro; in prima approssimazione si può affermare che tre sono i parametri da considerare:

- Lo scopo per cui la valutazione di pericolosità è richiesta;
- L'estensione dell'area in oggetto;
- La disponibilità di dati di input: nel caso fossero indispensabili nuove informazioni, la loro raccolta deve essere eseguita subordinatamente a una attenta analisi costi/benefici.

La scelta della scala di lavoro si riflette in modo non trascurabile sulla selezione dell'approccio metodologico da adottare. Infatti, benché da un punto di vista prettamente teorico ogni metodo sia applicabile a qualunque scala di lavoro, esistono delle importanti limitazioni: così, ad esempio, se da un lato l'adozione di un metodo statistico può risultare problematico a una scala di dettaglio e per aree di limitata estensione (a causa dell'assenza di un campione di fenomeni sufficientemente rappresentativo), dall'altro un approccio di tipo deterministico, basato ad esempio sul calcolo del fattore di sicurezza presenta delle controindicazioni se riferito ad una scala regionale (Aleotti – Polloni 2005- Valutazione e mitigazione del rischio frane).

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni di carattere generale circa la previsione spaziale della pericolosità.

Il primo livello di suddivisione delle tecniche utilizzabili è quello tra *approcci qualitativi* ed *approcci quantitativi*.

I primi sono soggettivi e pervengono a una zonazione della pericolosità in termini descrittivi; si ricordano gli inventari delle frane, le carte di pericolosità derivate dalla cartografia geomorfologica e i metodi di sovrapposizione di carte tematiche indicizzate (indicizzazione delle cause). I metodi quantitativi sono generalmente basati su criteri

[Digitare il testo]

oggettivi ed in teoria sono riproducibili, danno cioè risultati identici se applicati in situazioni diverse e producono stime numeriche della probabilità che in una certa zona si verifichi un fenomeno franoso. Appartengono a questa categoria i *modelli statistici* e i *modelli deterministici*.

Gli *inventari dei fenomeni franosi* sono basati sulla fotointerpretazione e sull'indagine di campagna, eventualmente integrate dall'esame di fonti storiche. Il prodotto finale è una carta nella quale le frane vengono perimetrate e differenziate in base alla tipologia e allo stato di attività: essa fornisce la base per una previsione spaziale e tipologica dei fenomeni franosi e permette l'identificazione delle situazioni passibili di riattivazione. La trasposizione delle informazioni in termini di pericolosità è ottenuta attraverso valutazioni soggettive, basate sull'esperienza di ogni singolo rilevatore .

I *metodi geomorfologici* sono metodi diretti, poiché la pericolosità è determinata direttamente sul terreno, dall'analisi dei fenomeni franosi individuati e dei processi ad essi connessi. Tutto il processo è basato sull'esperienza del geomorfologo e sul ragionamento per analogia. L'informazione di partenza è una carta inventario delle frane, alla quale si giunge tramite fotointerpretazione, lavoro di campagna e informazioni storiche. In letteratura è stato dimostrato che un buon rilevatore può riconoscere la maggior parte dei fenomeni franosi applicando le tecniche di fotointerpretazione e lavoro di campagna (Carrara et al., 1995b).

Il *metodo degli indici* è basato sulla conoscenza delle cause e dei fattori di instabilità, ed è un metodo diretto o semidiretto la cui buona riuscita dipende dal livello di comprensione dei processi geomorfologici in atto o che hanno agito nel passato sul terreno. I fattori ritenuti responsabili dell'instabilità, generalmente litologia, pendenza dei versanti, giacitura e uso del suolo, vengono classificati e pesati sulla base dell'importanza che si presume possano assumere in ciascun movimento gravitativo. Dalla combinazione di questi fattori, in maniera automatica o semi-automatica, vengono derivate le carte di pericolosità. Il limite principale di tale tecnica consiste nella soggettività con cui vengono determinati i pesi da assegnare ai diversi parametri, aspetto che rende impossibile il confronto tra elaborati prodotti da persone diverse. Il vantaggio sta invece nell'uso di regole esplicite e nella possibilità di standardizzare le tecniche di trattamento dei dati.

Il tasso di soggettività che inevitabilmente condiziona i metodi diretti, può essere notevolmente ridotto ricorrendo a metodi indiretti (modelli statistici e deterministici).

[Digitare il testo]

I *modelli statistici*, denominati anche modelli “black box” (Carrara, 1983; Harlen e Viberg, 1988), sono basati sull’analisi delle combinazioni di fattori di instabilità e delle loro relazioni con la distribuzione dei fenomeni franosi del presente e del passato. L’assunzione di partenza è che i fattori che hanno determinato nel passato un movimento di versante siano gli stessi che influiranno sui dissesti futuri. La valutazione della pericolosità può considerarsi oggettiva, dal momento che i fattori determinanti le frane e le loro interrelazioni vengono valutati su base statistica, anche se un certo grado di soggettività è introdotto sia al momento della scelta dei parametri da utilizzare, sia nella maniera in cui vengono raccolti i dati.

La forza di questo approccio dipende direttamente dalla *qualità* e *quantità* dei dati a disposizione; al contrario, un aspetto negativo consiste nel fatto che i modelli elaborati per una zona non possono essere facilmente rapportati a zone limitrofe.

Gli approcci statistici possono essere di due tipi: *multivariato* e *bivariato*.

Nell’analisi multivariata, tutti i fattori di instabilità vengono analizzati per mezzo di tecniche di regressione multipla, oppure vengono incrociati con la carta inventario delle frane, stabilendo delle correlazioni per le aree stabili e per quelle instabili con analisi discriminanti.

Esempi di questo tipo di approccio sono stati presentati per primi in Italia da Carrara (1983, 1989) e dai suoi colleghi (Carrara et al., 1990, 1991, 1992): in questi lavori celle, unità morfologiche o unità di condizioni uniche (UCU) sono state riclassificate in classi di pericolosità sulla base dei parametri propri del terreno (acclività, uso del suolo, geologia, esposizione dei versanti, ecc.) appartenenti a tali unità di mappa. Utilizzando metodi statistici *bivariati* viene valutato, individualmente, il contributo di ogni parametro nei confronti dei movimenti di versante. Ogni parametro viene cartografato e suddiviso in un certo numero di classi, dopodiché si combina con la carta delle frane, ottenendo una probabilità condizionata della presenza o assenza di frana. A questo punto, con diverse tecniche statistiche, si possono calcolare i valori pesati da attribuire alle diverse classi.

I metodi statistici, fornendo delle approssimazioni più oggettive, si pongono oggi come i procedimenti con i migliori risultati nella previsione spaziale dei fenomeni franosi, anche in virtù della maggior riproducibilità dei risultati ottenuti e della chiarezza delle regole di decisione utilizzate.

[Digitare il testo]

I *modelli deterministici* ovvero modelli “white box”, sono basati su modelli di stabilità dei versanti e permettono il calcolo quantitativo di un valore di stabilità (fattore di sicurezza). I modelli deterministici possono essere mono, bi o tridimensionali, a seconda della complessità del sistema di equazioni utilizzato per la risoluzione delle leggi fisiche che descrivono le condizioni di rottura, lo spostamento e l'arresto dei corpi in frana. Per la soluzione di queste leggi viene richiesta la conoscenza di dati geotecnici puntuali. Si richiedono pertanto un rilevamento in sito e prove di laboratorio. Per questo motivo i modelli deterministici vengono applicati su siti specifici e per fenomeni particolari (scala di versante) e non sono adatti per effettuare una zonazione della pericolosità in aree vaste.

3.2.2 *Previsione temporale*

La previsione temporale degli eventi franosi consiste essenzialmente nella definizione della loro probabilità di accadimento e fornisce, dunque, una pericolosità assoluta. Per effettuare questo tipo di previsione è necessario riferire la probabilità ad un dato lasso temporale che solitamente viene posto di un anno. Dalla probabilità annua è possibile ricavare poi il TEMPO DI RITORNO (in anni) di un fenomeno , $T = 1/P$.

Per fornire tale informazione servono dati sulla frequenza dei movimenti, che possono essere ricavati dall'analisi delle serie temporali degli eventi, tramite archivi storici e dall'esame di riprese aeree di anni diversi. Questo tipo di dati, oltre ad essere frammentari e disomogenei, è oneroso sia da un punto di vista economico sia per il tempo necessario alla raccolta. Bisogna inoltre considerare che, ogni volta che si innesca un movimento, cambiano le condizioni topografiche, geomeccaniche ed idrogeologiche del versante, e si creano nuove condizioni di instabilità, diverse da quelle iniziali. Anche l'analisi delle serie temporali dei fattori di innesco può essere molto utile nel determinare la frequenza delle frane in una certa area, essendo, solitamente, le notizie su eventi meteorici o terremoti più complete rispetto a quelle sulle frane.

[Digitare il testo]

3.2.3 Previsione dell'intensità

L'**intensità (I)** è la severità geometrica del fenomeno potenzialmente distruttivo. E' espressa in una scala relativa o in termini di una o più grandezze caratteristiche del fenomeno stesso come velocità, volume o energia. Come è ovvio, questi parametri non sono costanti nello spazio e nel tempo, ma variano all'interno del percorso e dell'area di propagazione del fenomeno.

Il potere distruttivo di una frana, in prima analisi, è funzione sia della sua velocità sia del suo volume, anche se nei piani di gestione della pericolosità e del rischio si considera principalmente la velocità, perché intimamente correlata alla salvaguardia dell'incolumità delle persone.

Cruden e Varnes (1996) hanno modificato (come mostrato nella tabella sottostante) una scala di intensità delle frane basata sulle velocità introdotta da Hungr nel 1981 rifacendosi concettualmente alla scala Mercalli utilizzata per l'intensità dei terremoti.

Classe	Descrizione	Danni osservabili	Velocità
7	Estremamente rapido	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.	5 m/s
6	Molto rapido	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.	3m/min
5	Rapido	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.	1.8 m/h
4	Moderato	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.	13m/mese
3	Lento	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento. Le strutture meno Danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se il movimento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.	1.6 m/anno
2	Molto lento	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	16 mm/anno
1	Estremamente lento	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzione di edifici possibile con precauzioni	

[Digitare il testo]

Fell (1994) propone invece un approccio basato sulle dimensioni della massa mobilitata da un evento franoso.

Intensità	Descrizione	Volume
7	Estremamente grande	$> 5 \times 10^6$
6	Molto grande	1×10^6 , 5×10^6
5	Mediamente grande	2.5×10^5 , 1×10^6
4	Media	5×10^4 , 2.5×10^5
3	Piccola	5×10^3 , 5×10^4
2.5	Molto piccola	5×10^2 , 5×10^3
2	Estremamente piccola	$< 5 \times 10^2$

3.3 Elementi a rischio e Esposizione al rischio

Gli elementi a rischio sono rappresentati dalla popolazione, le proprietà, le attività economiche, i beni e i servizi presenti in una determinata area soggetta al fenomeno potenzialmente pericoloso (Varnes et al., 1984), e sono caratterizzati dal loro valore economico (W).

L'approccio utilizzato per la valutazione degli elementi a rischio consiste in una stima qualitativa complessiva del valore relativo degli elementi; solitamente viene calcolato il valore del singolo elemento e moltiplicato poi per il numero complessivo degli elementi presenti. A seconda della tipologia dell'elemento la quantificazione degli elementi a rischio può essere di tipo discreto (es: persone,edifici) o espressa per unità di superficie (es: terreni) (Aleotti-Polloni 2005).

[Digitare il testo]

Senza entrare nello specifico, il calcolo del valore può essere condotto utilizzando diversi approcci:

- Sommatoria del valore discreto dei singoli elementi;
- Gli elementi a rischio vengono caratterizzati da funzioni individuate sulla base dell'utilità sociale o individuale di ogni elemento. Il valore finale viene espresso come sommatoria delle funzioni di utilità dei singoli elementi a meno di un peso da attribuire al singolo elemento nell'utilità complessiva.
- Utilizzo di formule empiriche in cui il valore totale di un elemento è definito dalla somma (eventualmente pesata) dei diversi fattori che lo compongono.
- Il valore viene espresso in termini qualitativi come totale del valore relativo degli elementi esposti a rischio. Questa metodologia risulta molto utile nel caso di aree molto vaste.

Per **esposizione al rischio (Exposition, Es)** si intende invece la probabilità che un certo elemento sia esposto all'occorrenza di un fenomeno potenzialmente pericoloso. In letteratura il concetto di esposizione per i fenomeni naturali non è stato formalizzato in modo sistematico.

L'esposizione al rischio è una caratteristica degli elementi a rischio che spesso non viene considerata in modo esplicito. In generale essa si riferisce a *quanto* e *come* un certo fenomeno interagisce con gli elementi a rischio, ed è pertanto in funzione sia delle caratteristiche proprie dell'elemento, sia dell'intensità con cui l'elemento interagisce con il fenomeno potenzialmente pericoloso. Per quanto riguarda i fenomeni naturali, l'esposizione è legata essenzialmente alla *mobilità/staticità* dell'elemento a rischio, e, in particolare, alla probabilità che tale elemento si trovi nel punto x,y al tempo t :

$$E_s = p(E = x, y) * p(E = t)$$

Nel caso in cui il fenomeno pericoloso non abbia una cinematica lenta oppure sia già avvenuto (massi che cadono o che sono già caduti in mezzo ad una strada), l'esposizione degli elementi mobili sarà influenzata dalla reazione dell'elemento al pericolo (fuga, deviazione, arresto, ecc.). Questa reazione è influenzata da parametri quali la visibilità del

[Digitare il testo]

fenomeno, la reattività dell'elemento a rischio, la presenza di vie di fuga, ecc. Queste due ultime caratteristiche sono parte della *vulnerabilità*. Di conseguenza l'esposizione è funzione della vulnerabilità.

In letteratura sono stati proposti alcuni metodi che, seppur non sempre in modo esplicito, permettono una valutazione dell'esposizione.

Un esempio classico di metodologia è quella elaborata negli Stati Uniti per la sicurezza del traffico stradale in relazione al pericolo di crolli, il cosiddetto *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS, Pierson, 1991). Il metodo permette di valutare il rischio da caduta massi sulle strade e graduare le priorità di intervento, mentre prima della sua realizzazione queste ultime erano determinate dalla gravità della situazione geologica o l'importanza dell'arteria stradale.

I parametri fondamentali sono 9:

- 1) altezza della scarpata,
- 2) efficacia dei valli paramassi esistenti,
- 3) tempo necessario ad un veicolo per l'attraversamento di un'area a rischio,
- 4) distanza nicchia/strada in linea d'aria,
- 5) larghezza della strada,
- 6) caratteristiche geologiche,
- 7) volume dei crolli pregressi,
- 8) presenza d'acqua,
- 9) storia delle instabilità da crollo.



L'esposizione è espressa dal tempo necessario ad un veicolo per l'attraversamento. Il Criterio in base al quale è possibile valutare le possibili conseguenze di un eventuale dissesto consiste nell'assegnazione di un punteggio ai nove elementi sopra elencati. Tale elenco mette in evidenza la difficoltà nella valutazione del rischio per problemi di tipo dinamico, ossia in cui una parte degli elementi a rischio sia stazionaria ed una parte sia invece di tipo transitorio (Crosta & Locatelli, 1999).

[Digitare il testo]

CATEGORIA			CRITERIO DI VALUTAZIONE E PUNTEGGIO			
			3 punti	9punti	27 punti	81 punti
ALTEZZA DEL PENDIO			7,5 m	15 m	22,5 m	30 m
EFFICACIA DEL VALLO			Buona	Mediocre	Scadente	Inefficace
% DISPONIBILE DI DISTANZA DI VISIBILITÀ PER L'ARRESTO			Intera distanza di visibilità per l'arresto	8o% della distanza di visibilità	6o% della distanza di visibilità	4o% della distanza di visibilità
LARGHEZZA STRADA			13,2o m	1o,8o m	8,4o m	6 m
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	CASO 1	CONDIZIONI STRUTTURALI	Giunti discontinui,giaciture favorevoli	Giunti discontinui,giaciture casuali	Giunti discontinui,giaciture sfavorevoli	Giunti continui,giaciture sfavorevoli
		ATTRITO	Sup.scabre e irregolari	Sup. ondulate	Sup.piane	Sup.levigate o riempimenti argillosi
	CAS 2	CONDIZIONI STRUTTURALI	Quasi omogenee	Debole eterogeneità	Media eterogeneità	Elevata eterogeneità
		DIFFERENTE ERODIBILITÀ	Scarsa	Media	Elevata	Molto elevata
	DIAMETRO DEL MASSO			o,3 m	o,6 m	o,9 m
VOLUME DEL CROLLO PER EVENTO			2,3 m3	4,6 m3	6,9 m3	9,2 m3
COND.CLIMATICHE ED ACQUE SOTTERRANEE			Piogge da scarse a moderate,assenza di periodi di gelo,acque sotterranee assenti	Piogge moderate,brevi periodi di gelo,presenza intermittente di acque sotterranee	Piogge elevate,lunghi periodi di gelo,presenza continua di acque sotterranee	Piogge molto elevate,lunghi periodi di gelo,presenza continua di acque sotterranee
FREQUENZA DEI CROLLI			Pochi crolli	Crolli occasionali	Molti crolli	Crolli continui

Tabella 1 - Categorie del metodo RHRS e punteggi relative (da Pierson et al., 1990)

3.4 La vulnerabilità

La vulnerabilità (V) rappresenta il grado di perdita che è indotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio a causa del verificarsi di un fenomeno naturale di una certa intensità (Varnes et al., 1984). In pratica la vulnerabilità esprime il raccordo che lega l'intensità del fenomeno alle sue possibili conseguenze. Essa può essere determinata o con un approccio di tipo quantitativo o con metodi qualitativi (Crosta *et al.*, 2001).

Il metodo quantitativo è finalizzato alla determinazione per ogni elemento a rischio di un valore numerico compreso tra 0 (nessuna perdita) e 1 (perdita totale) a partire dal quale è poi calcolata la vulnerabilità complessiva.

Date le numerose variabili in gioco il calcolo della vulnerabilità è molto complesso. Tra di esse possiamo elencare:

- intensità del fenomeno franoso ; ovviamente più intenso è il fenomeno maggiore è la vulnerabilità dell'elemento;
- aspetto costruttivo e strutturale dell'elemento;
- posizione dell'elemento rispetto al fenomeno;
- presenza di eventuali protezioni.

Analogamente alla pericolosità, è necessario definire a priori la tipologia di unità territoriale di riferimento anche se non necessariamente tale unità deve essere uguale a quella utilizzata per l'analisi di pericolosità.

La letteratura sull'argomento mostra la prevalenza di approcci del tipo euristico, che portano ad una stima qualitativa o semi-quantitativa della vulnerabilità espressa in classi; questi metodi si basano su stime soggettive (Fell, 1994) o sull'utilizzo di matrici. Solitamente, in studi preliminari, la vulnerabilità viene posta, cautelativamente, uguale a 1, considerando la distruzione completa di un elemento interessato da una frana.

[Digitare il testo]

3.5 Il Rischio

Il Rischio viene solitamente definito come una misura della probabilità di conseguenze sfavorevoli per la salute, le proprietà e la società, derivanti dall'esposizione ad un fenomeno pericoloso (hazard) di un certo tipo e di una certa intensità, in un certo lasso di tempo ed in una certa area (Smith, 2004). La valutazione del rischio rappresenta il passo finale di tutte le valutazioni appena descritte.

Definiamo innanzitutto:

Danno potenziale (potential worth of loss, WL): corrisponde al costo totale dei danneggiamenti e/o perdite subite a seguito dell'occorrenza di un fenomeno potenzialmente pericoloso:

$$W_L(I, E) = W(E) * V(I, E)$$

Per definizione l'entità delle perdite dipende dalle caratteristiche dell'elemento a rischio (valore e vulnerabilità) e dall'intensità del fenomeno (attraverso la vulnerabilità), non dipende quindi dalla probabilità di occorrenza del fenomeno, cioè dalla pericolosità.

Per quanto riguarda un fenomeno naturale come una frana possiamo operare una distinzione tra rischio specifico e rischio totale.

Il primo è inteso come il grado di perdita atteso quale conseguenza di un particolare evento calamitoso di una data intensità, ed è espresso in termini di probabilità annua :

$$R_S = R_S(I, E) = H * E_S * V = P * V$$

Dove R_S = rischio specifico, V = vulnerabilità, P = probabilità di impatto.

La probabilità di impatto dipende a sua volta dalla pericolosità e dall'esposizione, che hanno generalmente andamento opposto al variare dell'intensità. La pericolosità infatti tende spesso ad avere un andamento decrescente con l'intensità (sismi, alluvioni, ecc.).

Dal rischio specifico può essere stimato il rischio totale:

[Digitare il testo]

$$R_T = R_S * W$$

Dove W = valore dell'elemento a rischio.

Solitamente il rischio viene differenziato a seconda dell'elemento considerato, per questo può essere espresso in termini di percentuale, numero o quantità di unità perse per anno.

Un esempio di applicazione della zonazione da rischio è fornito dalle indicazioni del DPCM 29.09.1998 che definisce le 4 classi di rischio totale cui deve rifarsi la pianificazione di bacino in materia di difesa del suolo:

Rischio		Descrizione
moderato	R₁	per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
medio	R₂	per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
elevato	R₃	per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
molto elevato	R₄	per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Una volta definito il rischio, è opportuno inserire nel processo valutativo la definizione di una soglia di rischio accettabile, in modo da passare ad una analisi di rischio vera e propria e quindi alle problematiche legate alla sua gestione (Fell e Hartford,1997).

E' opportuno quindi confrontare il valore di rischio determinato con il rischio accettabile. Ci si deve chiedere, cioè, quali siano le conseguenze che una società è preparata ad accettare senza un definito programma di gestione; concetto da non confondere con il rischio tollerabile (o rischio residuo), definito come livello di rischio con il quale una società è

[Digitare il testo]

disposta a convivere, una volta intraprese azioni di mitigazione, controllo e monitoraggio dello stesso.

Le soglie di rischio accettabile dipendono dal tipo di fenomeno indagato. C'è anche da notare, come ricorda Fell (1994), che l'opinione pubblica sembra tollerare elevati livelli di rischio (fino a 10^{-2} per anno in termini di rischio specifico) se esposta volontariamente (ad esempio per incidenti stradali), mentre la soglia scende di tre, quattro ordini di grandezza nel caso di rischio involontario (rischi industriali, incendi, calamità naturali). In linea di principio è possibile affermare che, da una parte, esiste un rischio che la maggior parte della comunità considera come in ogni caso non giustificabile e, dall'altra, un rischio che la comunità stessa ritiene grossomodo accettabile. In mezzo a questi due estremi vi è un 'area in cui il rischio non è necessariamente accettato ma tollerato. Quest'area, nota in letteratura come ALARP, acronimo di *as low as reasonably practicable*, è delimitata superiormente ed inferiormente da due soglie, la prima delle quali è definita "limite", la seconda "obbiettivo" (The Royal Society 1992).

Le opzioni disponibili per la riduzione del rischio da frana si possono raggruppare in cinque gruppi fondamentali:

- Misure indirizzate alla diminuzione della pericolosità: generalmente si tratta di soluzioni ingegneristiche, il cui obiettivo è diminuire la frequenza e/o la grandezza dei fenomeni franosi.
- Riduzione della vulnerabilità, ovvero consolidamento dei beni a rischio e realizzazione di opere di protezione per ridurre il coinvolgimento dell'elemento a rischio.
- Riduzione del numero di elementi a rischio, ovvero delocalizzazione dei beni esposti in aree non interessate dal fenomeno pericoloso.
- Aumento delle soglie di rischio accettabile, tramite la predisposizione di sistemi di allerta, educazione ed informazione.
- Aumento delle soglie di rischio tollerabile, da realizzarsi attraverso una condivisione delle perdite.

Capitolo IV

La metodologia di analisi del rischio adottata dalla Provincia Autonoma di Bolzano

4.1 Introduzione

Il territorio altoatesino presenta un dislivello tra fondovalle e crinali prossimo a 1500 m con punte anche superiori a 2500 m. Gran parte delle maggiori zone urbanizzate e le principali vie di comunicazione con il Nord Europa sono situate nella ristretta fascia di fondovalle, mentre numerosi comuni e località minori sono collegate al fondovalle da strade strette di versante di ordine provinciale ed ex stradale, che tagliano ripetutamente i pendii montuosi interessando ampie fasce esposte a rischio di crolli da pareti ed affioramenti rocciosi. In questo contesto il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano, oltre a fornire consulenze tecniche per le singole realtà comunali e ad eseguire e coordinare interventi di pronto intervento nell'ambito della protezione Civile, è chiamato per più del 50% dei proprio interventi a risolvere problemi connessi alla sicurezza delle reti viarie provinciali legati proprio a processi di crollo.

Assumono quindi particolare rilievo le azioni di previsione e quelle di prevenzione del rischio.

Al fine di pervenire ad una legittima programmazione delle attività di previsione e prevenzione, il Dipartimento dei Lavori Pubblici, ha scelto di utilizzare una strategia che prevedesse non soltanto l'implementazione di un catasto informatizzato sul patrimonio delle opere di protezione contro la caduta massi, ma anche lo sviluppo di un nuovo strumento operativo denominato "protocollo" che consentisse di ordinare le priorità di intervento e di distribuire le risorse disponibili in maniera oggettiva.

E' nato così, con l'operatività dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali , il supporto del Dipartimento Opere Pubbliche e della Ripartizione Protezione Civile e la collaborazione scientifica del DISTART – Università degli Studi di Bologna, Alma Mater Studiorum, il progetto VISO che riguarda i pericoli generati da frane di crollo, ribaltamento, scivolamento

[Digitare il testo]

di porzioni di pareti rocciose e caduta massi. Il progetto ha come scopo la valutazione del pericolo, della vulnerabilità e del rischio e dell'effettiva funzionalità delle opere di protezione contro la caduta massi lungo la strada statale del Brennero (Figura 1).

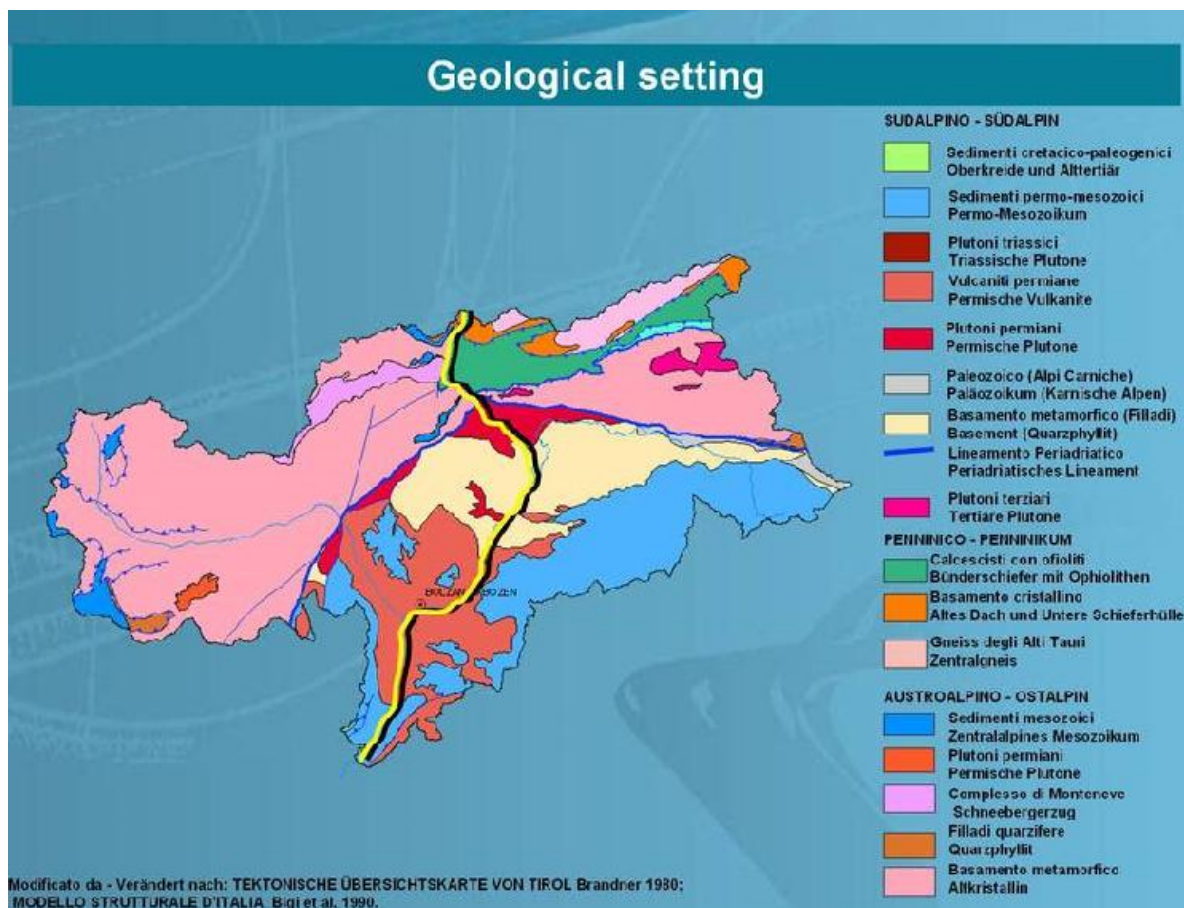


Figura 1 – carta geologica dell'Alto Adige semplificata, in giallo è evidenziata la statale del Brennero

All'interno di tale progetto, al fine di valutare l'adeguatezza delle opere di protezione contro la caduta massi, si è deciso di effettuare un catasto delle stesse, integrando con i dati reperibili nelle diverse sedi del servizio strade, i dati già presenti grazie ai rilevamenti effettuati da Geologi dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali o Liberi professionisti, nell'ambito del progetto VISO, il cui scopo è l'acquisizione tramite rilievi GPS, delle opere di protezione contro la caduta massi e la valutazione dell'effettiva funzionalità di tali opere lungo le strade statali e provinciali.

L'iter che permette di raggiungere l'individuazione del rischio specifico che caratterizza un particolare tratto stradale si articola in più fasi :

[Digitare il testo]

- 1) individuazione dei tratti di strada da indagare, secondo le indicazioni dei direttori di zona del Servizio Strade; successivo perfezionamento dell'individuazione dei tratti attraverso un'analisi del punto di massima propagazione dei massi, secondo il "metodo zenitale" (BUWAL, 1998), ed il ricorso a strumenti GIS. Vengono così definite zone circoscritte con pendenza media del versante generalmente $>35^\circ$, dove possono verificarsi fenomeni di caduta massi (figura 2).
- 2) Uscita in campagna per la raccolta dei dati che contraddistinguono il versante; restituzione dei dati e definizione della pericolosità del versante (a cura del geologo/rilevatore); durante il sopralluogo, se presenti, si analizzano anche le opere di protezione, con conseguente restituzione dei dati conseguiti e definizione della pericolosità del versante in presenza dell'opera protettiva (a cura del geologo/rilevatore);
- 3) Implementazione della tabella di vulnerabilità della strada correlata al versante studiato.
- 4) Definizione del rischio del versante, in presenza o meno dell'opera protettiva.

I diversi passi vengono analizzati nei paragrafi seguenti.

4.2 Individuazione dei tratti stradali

Il primo passo è quello di individuare i tratti stradali più problematici, e che in seguito verranno sottoposti ad indagine. Per ogni tratto stradale viene compilata una tabella nella quale vengono inserite informazioni relative a: nome della strada, intervallo individuato, indicazione della località, presenza di scarpate rocciose immediatamente sovrastanti il tratto stradale, presenza di opere protettive, T.G.M.(traffico medio giornaliero), disponibilità di tracciati alternativi per raggiungere una data località, classe di rischio entro al quale la zona ricade (secondo le autorità di bacino).

Noti ed ordinati i tratti stradali da investigare, si procede con un'individuazione più mirata delle porzioni di pareti e versanti da sottoporre a studio. Questo avviene ad opera di un tecnico dell'ufficio di Geologia, il quale provvede ad applicare ai versanti che costeggiano la strada in esame, il metodo zenitale di Buwal (1998). Questa analisi viene eseguita per tutti i

[Digitare il testo]

costoni con pendenza $>35^\circ$; in sostanza, considerando ogni punto dal quale potenzialmente può avvenire un distacco, ed associando a ciascuno di essi un “cono d’ombra” di ampiezza pari a 35° dalla verticale e 30° in pianta, si ottiene una particolare cartografia; la mappa ottenuta (Figura 2) rappresenta la reale probabilità di caduta del singolo masso, e viene confrontata con le indicazioni fornite dai direttori di zona.

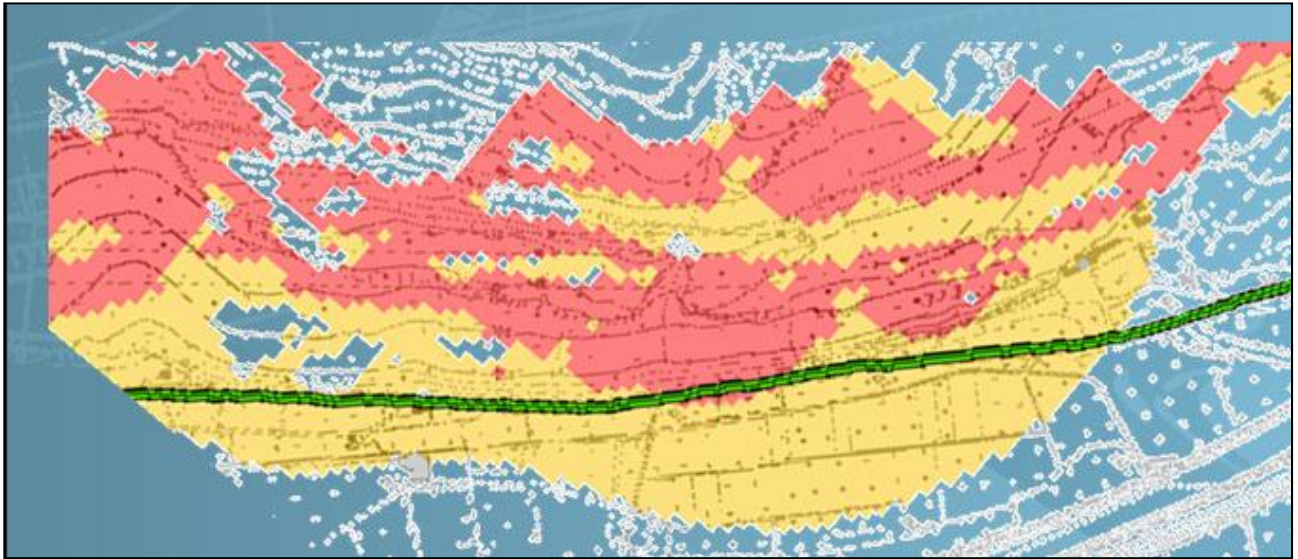


Figura 2– esempio di mappa dei versanti da analizzare

4.3 Raccolta dei dati di campagna

Una volta noto l’effettivo tratto stradale (in realtà i relativi versanti) da indagare, un geologo/rilevatore con opportuni strumenti quali il “protocollo” ed il catasto informatizzato delle opere protettive definisce il rischio di caduta massi per i versanti in esame.

Il “protocollo” è uno strumento che riguarda i soli fenomeni di caduta massi (o crolli) e che considera esclusivamente fenomeni con velocità $v > 3 \text{ m/min}$ (valore generalmente accettato come limite per l’allertamento delle persone, oltre il quale si ritiene essere a rischio la vita umana). Il metodo rappresenta un procedimento di facile applicazione, che deriva da classificazioni e standard scientifici universalmente noti ed accettati (nello specifico il metodo svizzero di Buwal, 1998/1999).

Il catasto raccoglie invece informazioni relative al dimensionamento del sistema di difesa, alla sua o meno adeguata posizione sul territorio, nonché al suo stato di conservazione.

[Digitare il testo]

Insieme, “protocollo” e catasto informatizzato, consentono rispettivamente di definire la pericolosità (H, H^*) ed il rischio (R, R^*) che contraddistinguono una parete, oltre alla priorità di manutenzione relativa ad una data opera protettiva.

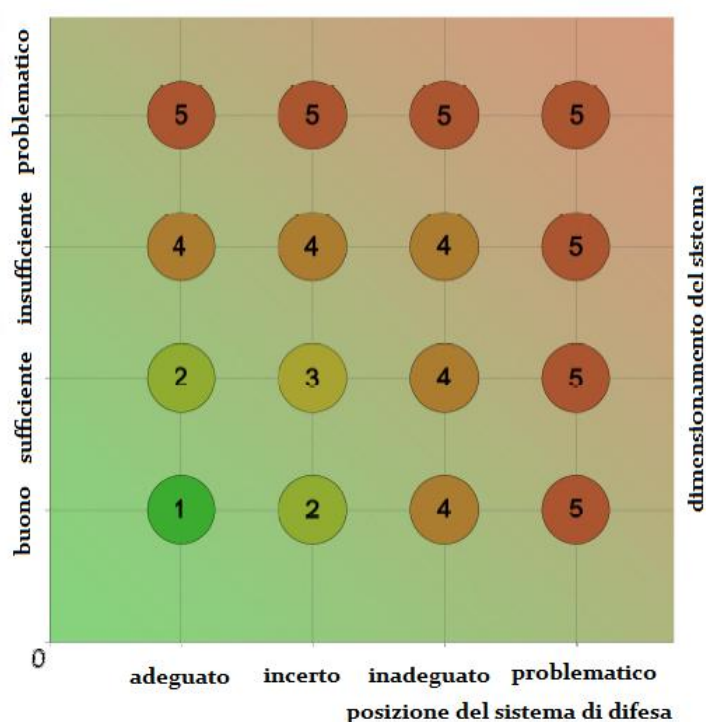
La definizione delle caratteristiche di cui sopra avviene solo attraverso una indagine sul campo, articolata secondo molteplici fasi, ed in particolare:

- 1) Definizione della priorità di intervento sull'opera.
- 2) Definizione della pericolosità (H) del versante, sprovvisto di opere protettive.
- 3) Definizione della pericolosità (H^*) del versante, in presenza di opere protettive.

4.4 Definizione della priorità di intervento sull'opera protettiva

Il grado di urgenza relativo agli interventi da eseguire sull'opera (manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, nuova progettazione) viene di norma suddiviso in classi (A-B-C-D-E) ed ottenuto in sede di sopralluogo, attraverso i seguenti passaggi.

Prima di tutto si definisce l' Utilità del Sistema di Difesa, ottenuta dall'intersezione tra il corretto dimensionamento dell'opera e la sua efficace collocazione sul territorio, come mostrato nell'immagine a lato.



[Digitare il testo]

Il corretto posizionamento del sistema di difesa sul versante viene definito sul foglio di campagna con uno dei seguenti aggettivi:

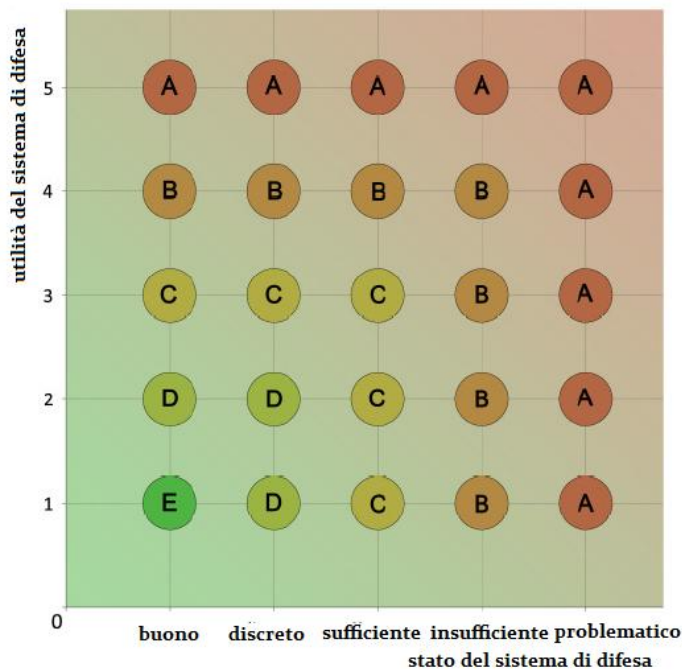
- *Adeguato* : se la posizione dell'opera indagata è certamente corretta; a fronte di tale posizionamento aumentano la stabilità e/o le condizioni di sicurezza del versante;
- *Incerto*: se non è possibile determinare l'effettiva adeguatezza del posizionamento dell'opera protettiva, dal semplice sopralluogo in campagna
- *Inadeguato*: il posizionamento dell'opera risulta essere influente ai fini del miglioramento della stabilità e/o delle condizioni di sicurezza del versante
- *Problematico*: scorretto posizionamento dell'opera sul versante, tanto da modificare in maniera negativa la stabilità o le condizioni di sicurezza dello stesso, aumentando il pericolo.

Il dimensionamento del sistema di difesa, viene individuato dalle seguenti categorie:

- *Buono*: dimensionamento adeguato all'evento che potrebbe verificarsi.
- *Sufficiente*: dimensionamento che si stima opinabile ma sufficiente ad accogliere l'evento.
- *Insufficiente*: sistema di difesa sottodimensionato.
- *Problematico*: il sottodimensionamento del sistema di difesa peggiora la stabilità del versante.

Dal confronto fra i parametri così ottenuti (Utilità del sistema e stato conservativo dell'opera) otteniamo dunque la classe rappresentativa della priorità di intervento sull'opera, come mostrato nella figura riportata nella pagina seguente.

[Digitare il testo]



Lo **stato di conservazione dell'opera**, viene indicato da una delle seguenti classi:

- *Buono*: non necessita di nessun tipo di manutenzione
- *Discreto*: se è richiesta la sostituzione/manutenzione di parti non strutturali
- *Sufficiente*: è richiesta la sostituzione/manutenzione di parti strutturali, che non pregiudicano tuttavia l'efficienza del sistema; è necessaria una pulizia più profonda
- *Insufficiente*: sistema di difesa del tutto assente; stato conservativo del tutto inadeguato
- *Problematico*: lo stato di manutenzione pregiudica la stabilità del versante, rendendo il possibile evento più pericoloso

4.5 Pericolosità del versante sprovvisto di opera di protezione (H)

Gli aspetti analizzati nei paragrafi precedenti riguardano esclusivamente l'opera protettiva, prescindendo dalle condizioni generali del versante. In questo paragrafo, si presenta viceversa, la metodologia che la Provincia Autonoma di Bolzano ha deciso di impiegare per la stima della pericolosità del versante quando questo sia sprovvisto di opera di difesa.

[Digitare il testo]

Definizione speditiva di INTENSITÀ DELLA PERICOLOSITÀ DELL’AFFIORAMENTO ROCCIOSO					
		Litotipo:			
Parametri	Intervalli dei valori				Punteggio
Volume dei blocchi	V > 1 m ³	V: 0.5 – 1 m ³	V: 0.1 – 0.5 m ³	V < 0,1 m ³	
punteggio	15	10	5	2	A
Volume massimo mobilizzabile per singolo evento	V > 100 m ³	10 – 100 m ³	10 - 5 m ³	V < 5 m ³	
punteggio	20	15	10	2	B
Stato di decompressione dell’ammasso roccioso	notevole	discreto	basso	compatto	
punteggio	50	20	10	2	C
Assetto giaciturale	Molto sfavorevole	Poco sfavorevole	ininfluente o assente	favorevole	
	15	10	0	-6	D
				IGP	A+B+C+D+50

La tabella di cui sopra riporta i parametri principali che il rilevatore deve prendere in considerazione durante il rilievo di campagna. Ad ogni parametro è stato associato un punteggio; sommando i rispettivi punteggi, per ogni voce di giudizio, e aggiungendo 50 al valore ottenuto, si perviene all’ intensità del pericolo proveniente dalla parete (I.G.P.).

Ricordiamo che come analizzato nel capitolo precedente, l’intensità di una frana di crollo, essendo data soprattutto dalla sua velocità, deve considerarsi da media ad elevata, per questo motivo la parametrizzazione parte dal valore minimo di “50”, per arrivare a quello di “150”.

L’intensità del pericolo viene poi modificata sulla base di parametri quali la pendenza media del versante, la morfologia della parete, nonché la presenza ed il tipo di vegetazione. Ancora una volta, ad ogni parametro è legato un punteggio, il cui valore è riportato nella tabella a seguire; la mitigazione/aumento dell’intensità del pericolo proveniente dalla parete, è rappresentata dal coefficiente di versante (C.V.), dato dalla somma dei punteggi parziali ottenuti.

[Digitare il testo]

Pendenza media del versante	75° - 90°	60° - 75°	45° - 60°	35° - 45°	
	0	-5	-10	-15	E
Morfologia del versante	Sfavorisce Nettamente l'arresto dei massi	Sfavorisce in parte l'arresto dei massi	Favorisce in parte l'arresto dei massi	Favorisce Nettamente l'arresto dei massi	
	0	-2	-4	-6	F
Vegetazione	Prati pascoli roccia nuda	Cespugliato	Bosco di conifere	Bosco ceduo	
	0	-2	-4	-6	G
				CV	E+F+G

Sommando i coefficienti I.G.P. e C.V., si ottiene un nuovo indice, che rappresenta l'intensità del pericolo geologico sull'arteria di riferimento (I.G.V.). Esso può assumere un valore che varia tra "22" e "150", e va utilizzato nel diagramma di "Buwall-modificato" esposto a seguire (Figura 3), al fine di ottenere la definitiva pericolosità del versante (H) che insiste sulla carreggiata stradale; tale pericolosità è ricavata dal confronto tra I.G.V. ed il tempo di ritorno del fenomeno di crollo considerato. Il corretto tempo di ritorno da utilizzare, dovrebbe essere quello relativo ai fenomeni di pari entità; tuttavia, poiché il metodo è approssimativo e causa le difficoltà nella ricostruzione degli accadimenti passati, vengono considerati, nella stima del tempo di ritorno, tutti i fenomeni di cui si ha notizia, indipendentemente dalla loro entità.

[Digitare il testo]

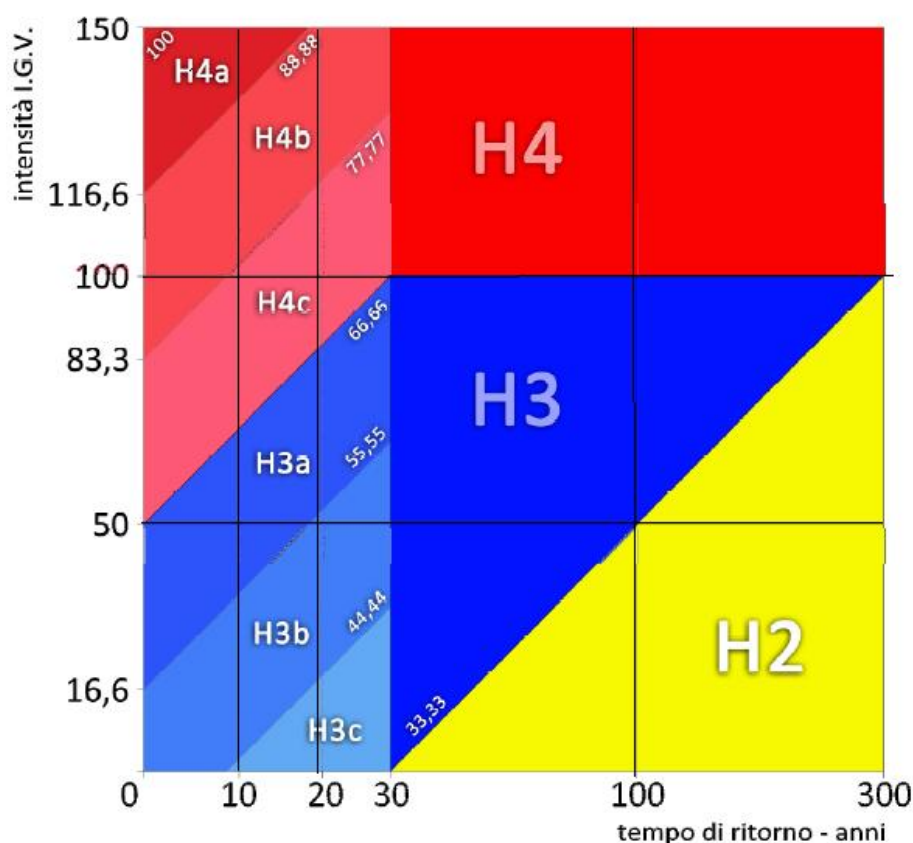


Figura 3 – diagramma di Buwall modificato

Questa classificazione rappresenta una modificazione del diagramma proposto nel metodo BUWAL (1998) per le zone di pericolo, e ripreso anche nelle “Direttive per la redazione del piano delle zone di pericolo e per la classificazione del rischio specifico” della Provincia di Bolzano.

I livelli di pericolosità sono nella realtà 4 (H₁, H₂, H₃, H₄), poiché però il fenomeno delle frane di crollo ha sempre un'intensità elevata, si considera che il pericolo possa variare in un range limitato, compreso tra i livelli H₂ ed H₄, dove quest'ultimo rappresenta la zona di maggiore pericolo.

Poiché i dati disponibili per le diverse strade statali coprono un periodo di tempo di circa 10/12 anni (a partire dal 1998), nell'area contraddistinta da tempi di ritorno inferiori ai 30 anni i livelli di pericolosità sono stati suddivisi in sottoclassi (H_{3c}, H_{3b}, H_{3a}, H_{4c}, H_{4b}, H_{4a}); questo per avere a disposizione classi di ampiezza limitata, e di conseguenza una più dettagliata graduatoria. Oltre alla suddivisione in sottoclassi di pericolo, l'incrocio tra I.G.V. ed tempi di ritorno, restituisce un indice numerico decimale che agevola ulteriormente il

[Digitare il testo]

confronto tra situazioni diverse; a tal proposito si fa notare che è stato convenzionalmente associato il valore 0 all'estremo inferiore della pericolosità H ; allo stesso modo, al confine tra la zona H_2 e quella H_3 è stato attribuito il valore numerico di 33,33, mentre al confine tra la zona H_3 e quella H_4 il valore numerico di 66,66; l'estremo in cui la pericolosità assumerà il suo valore massimo è caratterizzato da un indice numerico pari a 100.

La formula che permette di calcolare il valore di H a partire dall'I.G.V e dal tempo di ritorno è la seguente:

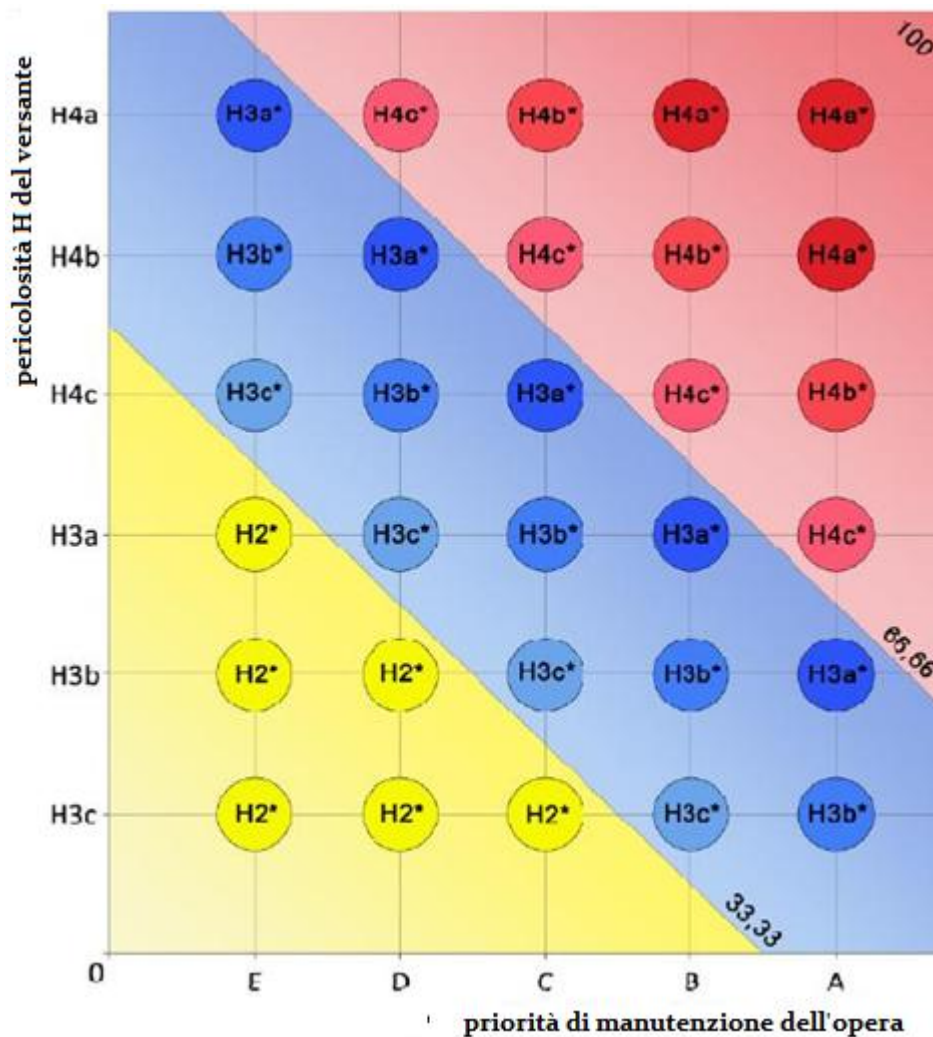
$$H = \left(50 - rr \frac{5}{9} \right) + \frac{I.G.V}{3}$$

4.6 Pericolosità del versante in presenza di opere protettive (H^*)

Nel caso in cui lungo il versante fossero presenti delle opere di difesa, la definizione della pericolosità è da effettuare andando a rapportare il valore della pericolosità del versante senza opere di protezione (valore compreso tra H_4 ed H_2 , ed ottenuto come specificato al paragrafo precedente) con quello della priorità di intervento sull'opera.

Ancora una volta, la pericolosità varia convenzionalmente tra i valori numerici 0 e 100, avendo fissato i medesimi limiti per la pericolosità dei versanti sprovvisti di opera protettiva. Così facendo, i valori della pericolosità nei due casi (versante con o senza opera protettiva) possono essere paragonati.

[Digitare il testo]



Il grafico sopra ci dice che un'opera caratterizzata da una priorità di intervento di tipo A (urgenza), accentua la condizione di pericolosità del versante: si ha infatti un salto di categoria di ampiezza pari ad un ordine. Un'opera contraddistinta da una priorità di intervento di tipo B non ha invece influenza sulla pericolosità complessiva del versante, lasciando il valore di pericolosità dello stesso, invariato.

Un'opera contrassegnata da una priorità di intervento di tipo C, inizia ad avere un'influenza positiva. Un'opera caratterizzata da una priorità di intervento di tipo D migliora ulteriormente la condizione di sicurezza del versante, consentendo una diminuzione della pericolosità dello stesso pari a due ordini di grandezza. Infine, un'opera con priorità di intervento di tipo E (opera corretta ed adeguata, bassissima urgenza di intervento) permette un decremento della pericolosità del versante, quantificabile in tre ordini di grandezza.

Il valore della pericolosità H^* a partire da H può essere ricavato utilizzando le seguenti relazioni:

[Digitare il testo]

$$A: H^* = H + 100/9$$

$$B: H^* = H$$

$$C: H^* = H - 100/9$$

$$D: H^* = H - 200/9$$

$$E: H^* = H - 100/3$$

4.7 Definizione della vulnerabilità

Definita la pericolosità H di un versante sprovvisto di opere protettive o quella H^* di una parete dotata di opere di difesa contro la caduta massi, si valuta la vulnerabilità dell'oggetto protetto. A livello di rete di trasporto, i parametri che concorrono alla definizione della vulnerabilità possono individuarsi nel valore del Traffico Giornaliero Medio (T.G.M.) che transita sulla strada indagata, e nel numero di possibili tracciati alternativi disponibili, secondo la tabella riportata di seguito.

VULNERABILITÀ STRADE (VS)				
Parametri	Intervalli dei valori			punteggio
Traffico giornaliero medio (TGM)				$T = TGM/3000$
Unico accesso alla vallata	Ci sono altri accessi	In parte il secondo accesso	Unico accesso	
punteggio	0	1,5	2,5	U
			Vulnerabilità	$t+u$

4.8 Definizione del rischio

Una volta ottenuto il valore della vulnerabilità per il tratto stradale da proteggere, si procede con la valutazione del rischio (R).

[Digitare il testo]

Esso rappresenta il grado di perdita atteso quale conseguenza di un fenomeno di crollo, e si ottiene dal prodotto dei termini ricavati nei precedenti paragrafi. Il rischio specifico su di una strada ubicata in prossimità di un versante sprovvisto di opere protettive, sarà pertanto dato dalla relazione:

$$R = H * V$$

Il rischio specifico lungo un tratto ubicato in adiacenza ad una parete dotata di opere protettive, sarà invece dato dalla relazione:

$$R = H^* * V$$

Nel capitolo successivo verrà presentato un esempio numerico di analisi del rischio per alcune tratte stradali all'interno del comprensorio della Provincia Autonoma di Bolzano; dalla raccolta dei dati necessari fino all'analisi vera e propria sulla base dei passi esposti nei paragrafi precedenti.

Capitolo V

Applicazione della metodologia di analisi del rischio

5.1 Introduzione

Nel capitolo precedente abbiamo visto quale sia la procedura che la Provincia Autonoma di Bolzano ha deciso di adottare nell'analisi del rischio dovuta alla caduta massi sui nodi stradali più a rischio.

In questo capitolo verrà presentato un esempio numerico di analisi della pericolosità per tre tratti stradali. I tratti stradali sono stati scelti in seguito ad una raccolta d'archivio delle opere di protezione da caduta massi presenti sul territorio Alto Atesino; si sono scelte le strade più accessibili e che presentavano il maggior numero di barriere paramassi deformabili, in modo da poter impiegare in maniera significativa i dati raccolti nella fase di creazione del database PARAMount. Le strade in questione sono la SS242 (Figura 1), che collega Ponte Gardena al Passo Sella (30 km); la SS241 (Figura 2) da Cornedo a Vigo di Fassa la SS508 (figura 3), da Bolzano a Passo Penne;

In particolare per tali strade, sono stati analizzati i chilometri riportati nella seguente tabella, scelti in base alla presenza ed alla accessibilità delle barriere.

strada	km	strada	km	strada	km
SS242	2.5	SS508	14.08	SS241	7
	3		15		7
	3		15.08		7.5
	5.5		20.9		9.5
	4.5		20.9		11.6
	6.5		20.9		11.07
					11.9

[Digitare il testo]

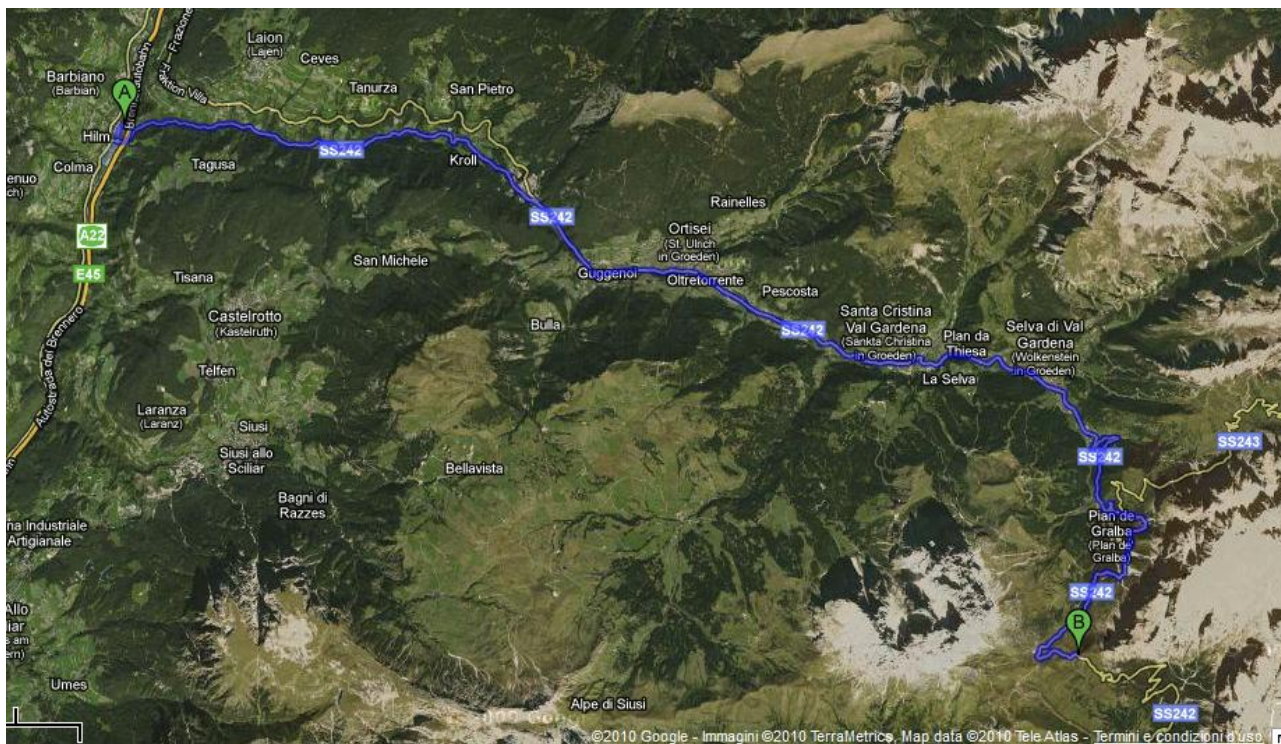


Figura 1- Strada Statale 242

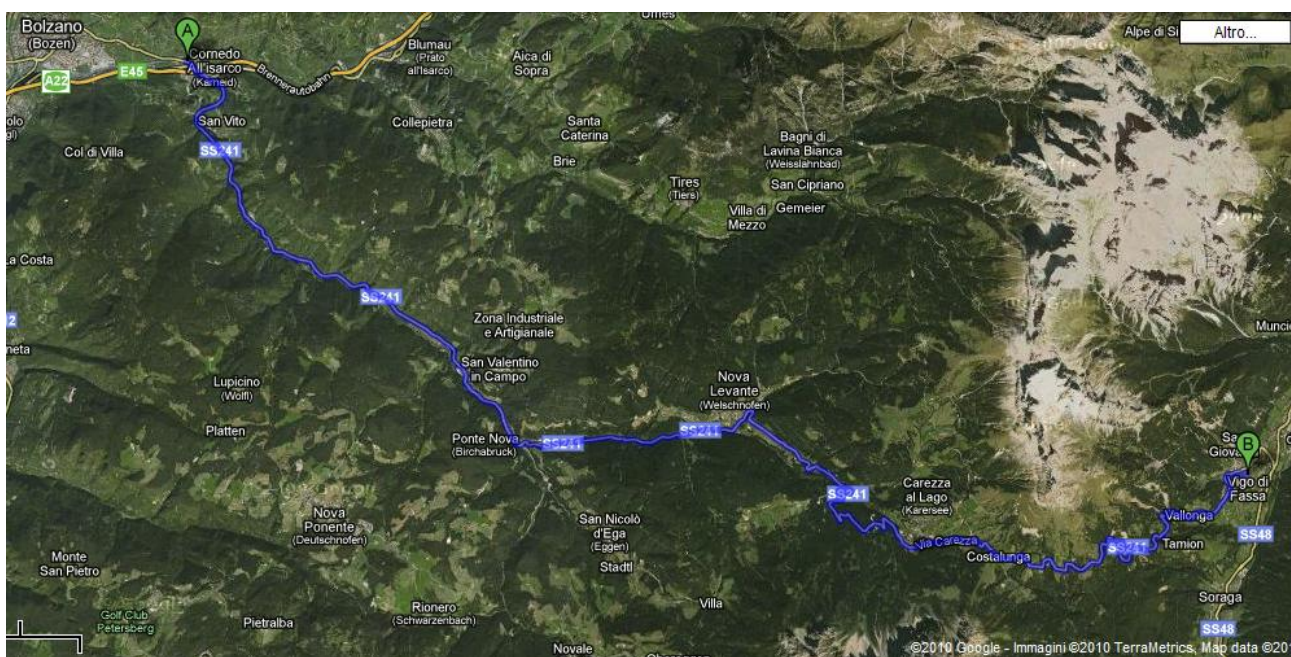


Figura 2 - Strada Statale 241

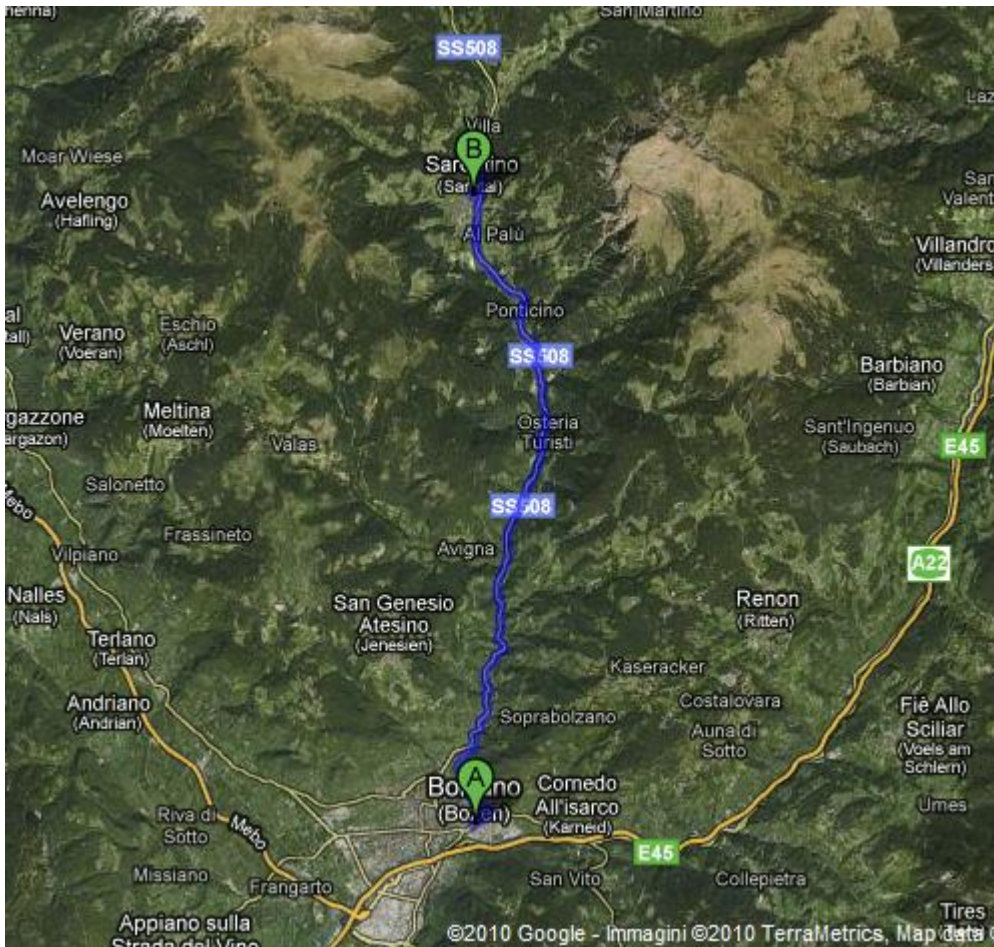


Figura 3- Strada Statale 508

5.2 Raccolta dati

All'interno del quadro esposto nel capitolo IV ho provveduto, con l'aiuto di una collega del corso di laurea, a raccogliere i dati presenti nelle diverse sedi del Servizio Strade della provincia di Bolzano. Questa ricerca d'archivio è stata rivolta alla raccolta delle informazioni relative al maggior numero di barriere paramassi deformabili installate in un arco temporale di dieci anni in tutta la provincia di Bolzano

I passi di questa ricerca e analisi delle barriere possono essere schematizzati nel seguente modo:

- 1) Analisi dei dati d'archivio per l'identificazione delle principali caratteristiche costruttive delle barriere.
- 2) Creazione di modelli atti a definire una "barriera tipo".

[Digitare il testo]

- 3) Inserimento dei dati raccolti nel database Paramount.
- 4) Associazione dei modelli alle barriere precedentemente inserite nel database.
- 5) Verifica della validità dei modelli creati.

In particolare i dati raccolti al fine di contenevano le seguenti informazioni: progetti, calcoli, disegni, certificazioni, libretti di manutenzione, libretti di montaggio. I dettagli tecnici di molte barriere presenti sul territorio, sono stati integrati contattando direttamente le principali ditte costruttrici (e.g. Geobruigg, Safe, Incofil, DDM, Trumer, Maccaferri). Ciò ha permesso di integrare i dati mancanti (e.g. geometria, dimensioni, specifiche tecniche). Si è quindi proceduto ad una

1. Classificazione;
2. catalogazione
3. verifica sul campo delle opere analizzate.

Tale classificazione è stata effettuata identificando dei modelli di “*barriera-tipo*” a cui è stato possibile ricondurre anche barriere paramassi precedentemente accatastate all’interno del progetto VISO, a tale classifica o per riconoscimento diretto in campo o grazie ad una esistente e ricca documentazione fotografica. A questo scopo oltre alla geometria dell’opera, la tipologia della rete e il tipo di montante, si è rivelato fondamentale per la catalogazione dell’esistente, la tipologia di freno, specifica tecnica che rappresenta un tratto caratteristico di ogni ditta, e la sua collocazione sulla barriera.

In una seconda fase i dati sono stati inseriti in un database (PARAMount), appositamente creato per dialogare con il software di analisi del rischio sviluppato all’interno del progetto VISO, nato come catasto delle opere di protezione presenti lungo le arterie stradali amministrate dalla Provincia Autonoma di Bolzano, che vuole diventare, in base alle esigenze dell’Amministrazione, un sistema oggettivo per la pianificazione delle risorse, non solo nell’ambito della manutenzione delle opere protettive, ma anche per la nuova progettazione.

[Digitare il testo]

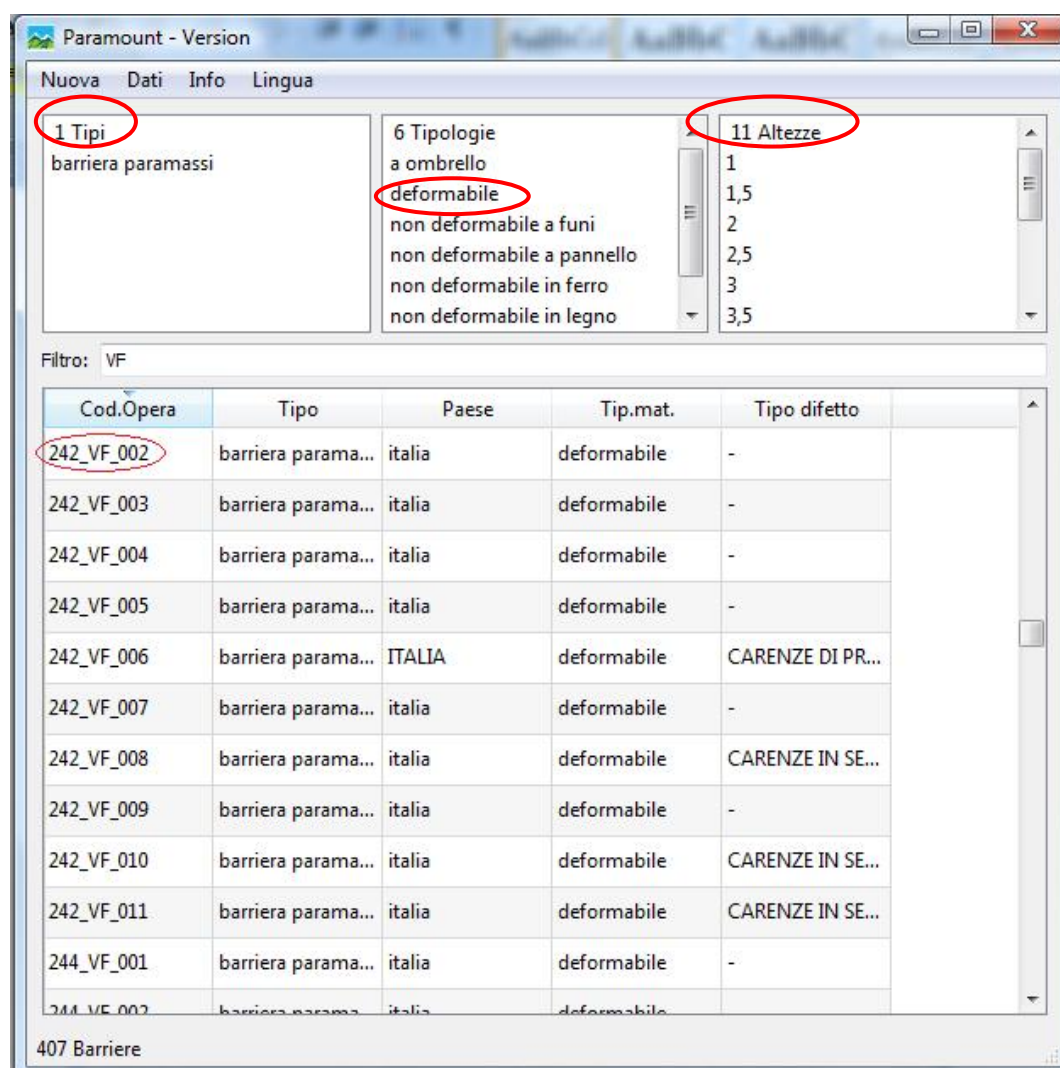
5.2.1 Sviluppo del database PARAMount

Il database PARAMount nasce come catasto delle opere di protezione da caduta massi presenti lungo le arterie stradali amministrate dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Per questo motivo ogni opera vi viene inserita con un CODICE specifico, composto nel seguente modo:

“sigla strada (o nome del comune)_ rilevatore (cognome o sigla)_ numero”

e.g.s : 242_VF_002;.....(Strada Statale 242, rilevatore: verafrancesca, opera numero 002...)(figura 4)

Nell'immagine sottostante possiamo vedere uno screenshot della finestra principale del PARAMount. Su questa finestra è possibile “interrogare” il software, effettuando un filtro sulle diverse opere per quanto riguarda i tipi, le altezze, e le tipologie. In questo modo la ricerca e il controllo di una specifica opera risulta più semplice e più veloce.



[Digitare il testo]

Ai fini della classificazione delle barriere le seguenti informazioni si sono rivelate determinanti:

- caratteristiche geometrico/costruttive della barriera (e.g. diametro funi, tipologia dei montanti, numero di campate) come illustrato in Figura 5;
- il tipo di freno come illustrato in Figura 6;
- il tipo di rete come illustrato in Figura 7;

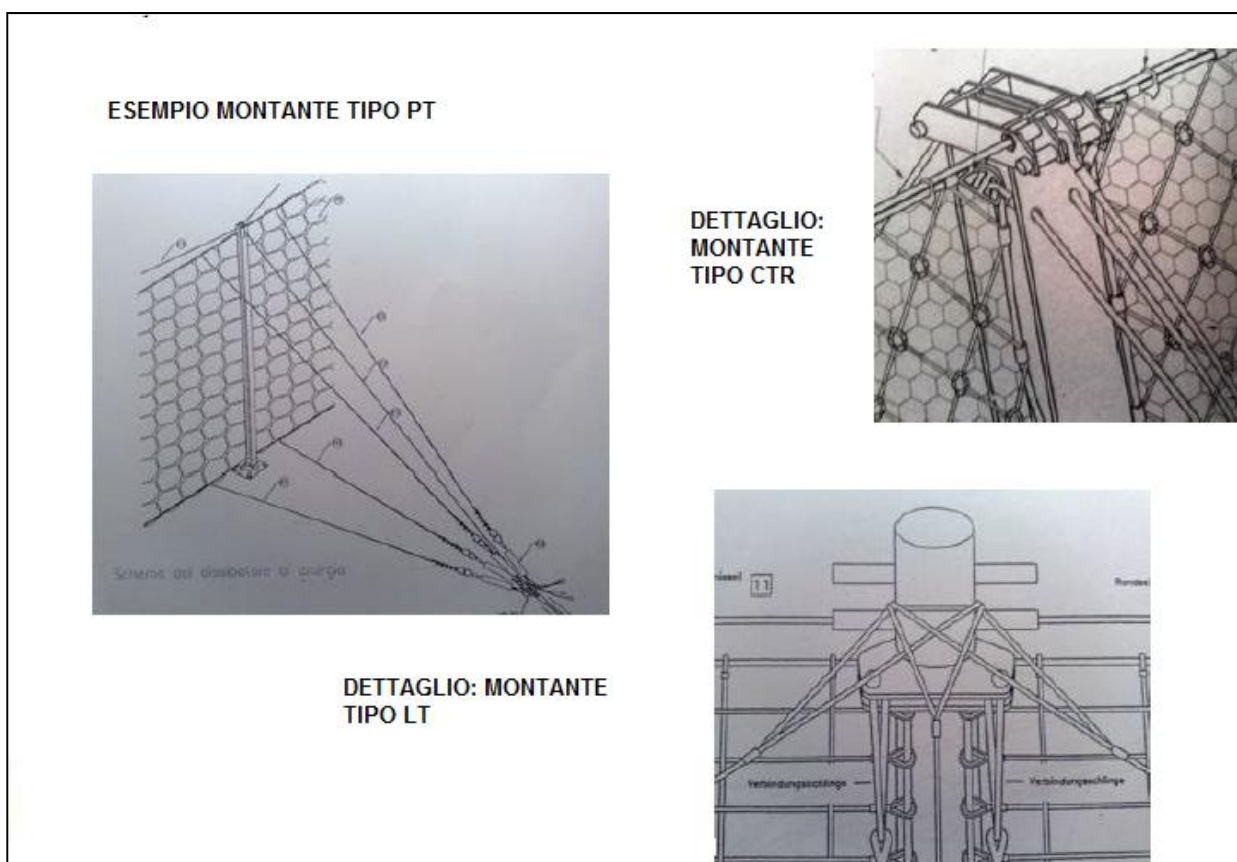


Figura 5 – caratteristiche geometriche di alcune barriere

[Digitare il testo]



FRENO
ISOSTOP



FRENO CTR



FRENO
GEOBRUGG



FRENO TRUMER



FRENO PT



FRENO
MACCAFERRI



ARTIGIANA
COSTRUZIONI

Figura 6- diversi tipi di freno presenti in commercio per le diverse ditte



Figura 7 – esempi di rete

[Digitare il testo]

Da queste informazioni sono stati creati i modelli (Figura 8):

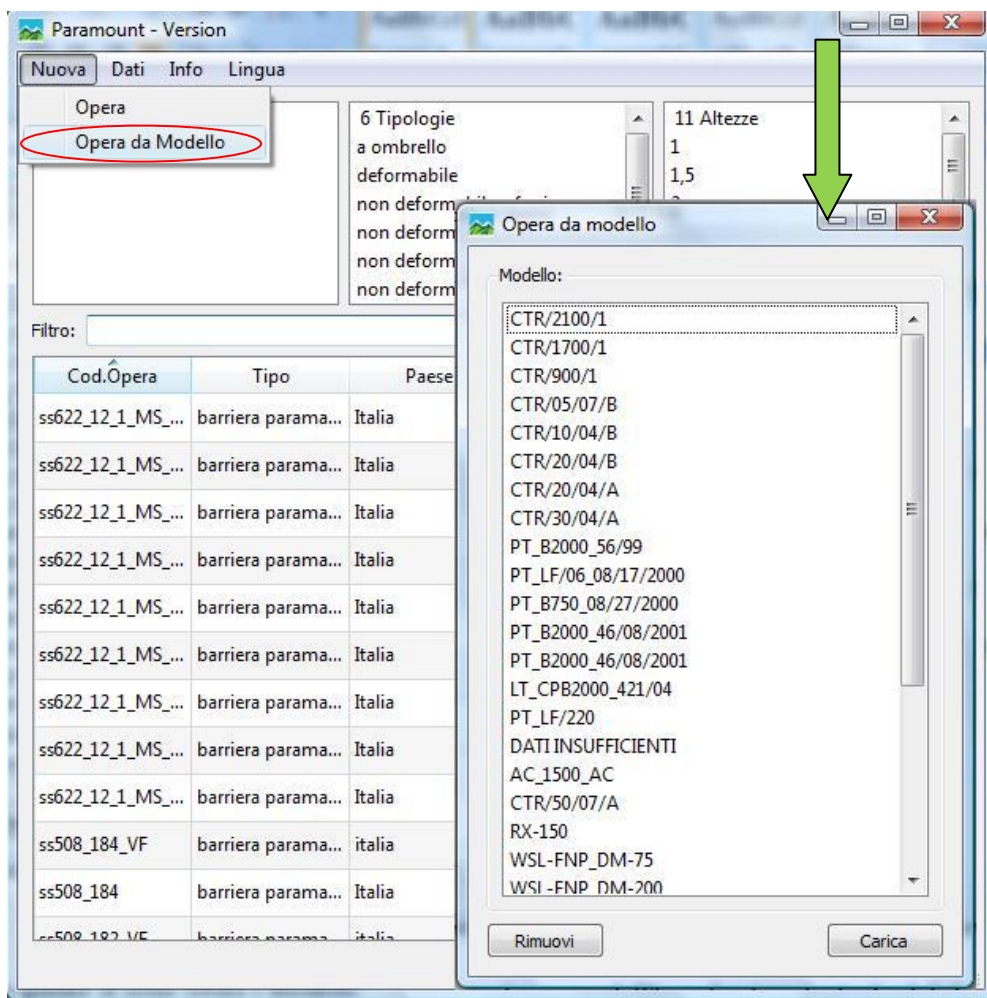


Figura 8 – I modelli create nel database PARAMount

Ogni modello porta salvate le caratteristiche principali della barriera per il suo riconoscimento in campagna (Figura 9), quali il diametro delle funi, il tipo di montante, il tipo di rete e i kJ. In questo modo l'inserimento di una nuova barriera all'interno del database risulta semplice e veloce, si tratta infatti di infatti aprire la scheda relativa al modello per trovare già salvati la maggior parte dei dati e di effettuare un aggiornamento che nella maggior parte dei casi sarà relativo alle informazioni peculiari della barriera quando installata in sito come il posizionamento sul territorio (strada e chilometraggio) o ad esempio eventuali danneggiamenti riscontrati dall'operatore durante il sopralluogo.

[Digitare il testo]

Opera da modello

Modello:

- CTR/2100/1
- CTR/1700/1
- CTR/900/1
- CTR/05/07/B
- CTR/10/04/B
- CTR/20/04/B
- CTR/20/04/A
- CTR/30/04/A
- PT_B2000_56/99
- PT_LF/06_08/17/2000
- PT_B750_08/27/2000**

Paramount - Opera

Paese: Strada: Tipologia (materiale):

Codice Opera: Da km: Certificazione/calcolo:

anno real.: a km: kJoule:

Tipo:

Geometria

Altezza:

Lunghezza:

N campate:

Larghezza Campata:

Interdistanza strutture orizzontali:

Altezza assi (legno e ferro):

Inclinazione Barriera:

Componenti

funi di ancoraggio: Ancoraggi:

funi orizzontali: ☒ ancoraggio di monte ☒ ancoraggi laterali

fune portante: ☐ ancoraggi di valle

Tipo rete interna: montante

Tipo rete esterna: Tipo:

Pannello: 8

fune perimetro: Giunto mediano:

Tipo fondazione: Giunto terminale:

Tipo freno: Giunto fondazione:

Irrigidimento:

DIFETTI

Tipo difetto: difetto:

Commento

- PT_B750_08/27/2000
- FUNE PERIMETRALE: 16 mm
- PANNELLO: maglia quadrata 200X200
- RETE METALICA A DOPPIA TORSIONE

Salva

figura 9- dettaglio del modello PT_B750_08/7/2000. I campi in bianco devono essere compilati se possibile

Il software offre anche la possibilità di inserire delle foto per documentare lo stato dell'opera. Molteplici infatti possono essere i difetti registrabili nel database; carenze di progettazione o esecuzione (mancanza di spazio utile per la deformazione, mancanza di rete piccola ecc): carenze in seguito ad un evento (funi staccate, montanti lesionati riempimento con materiale lapideo ecc), ma anche difetti dovuti all'usura dell'opera (corrosione e decomposizione). Alcuni esempi sono riportati nelle immagini sottostanti.

[Digitare il testo]



**FRENO
MALFUNZIONANTE**



**RIEMPIMENTO CON
MATERIALE
DETRITICO**



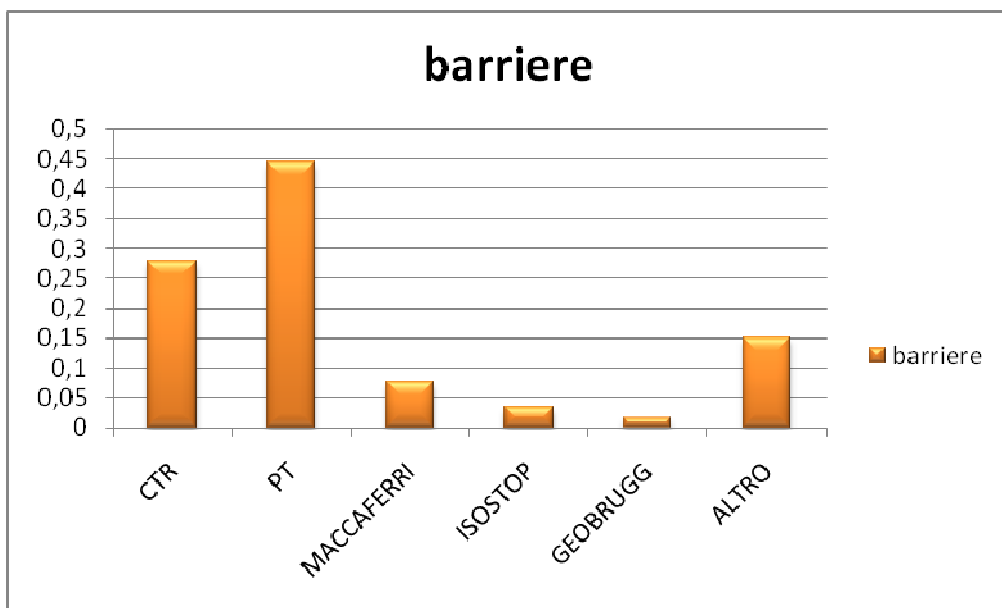
**FRENO AD ANELLO
ALLUNGATO IN
SEGUITO AD EVENTO**

[Digitare il testo]

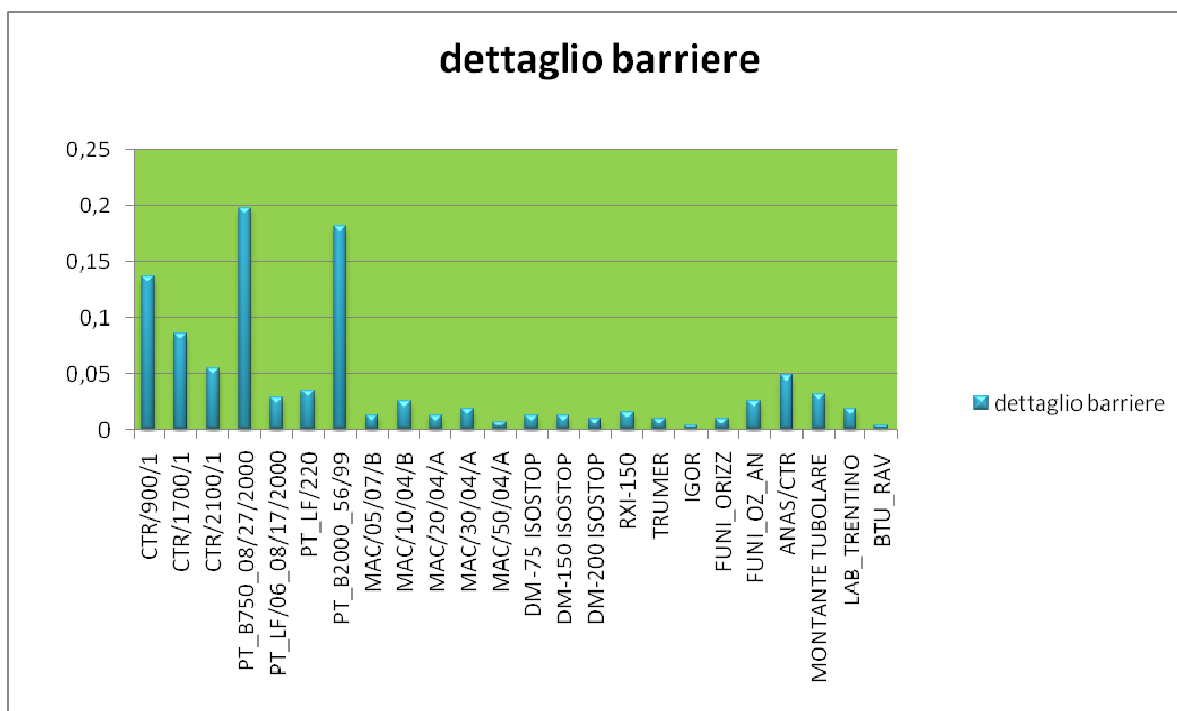
Tutti questi difetti andranno naturalmente ad incidere sulla valutazione dell'utilità del sistema di difesa, quindi sulla priorità di intervento, e di conseguenza sulla valutazione della pericolosità del versante (H*).

L'associazione delle opere, quando possibile, ai modelli creati, ha permesso anche di fare una stima non solo del numero di barriere presenti sul territorio ma anche si capire quale fosse il modello(e quindi anche la ditta di appartenenza) più frequente. All'interno del database sono ora presenti 1131 barriere ; di queste 407 sono state inserite da me e 313 suddivise nei vari modelli.

Senza entrare nel dettaglio di questa analisi nell'immagine seguente si mostra la distribuzione dei modelli creati presenti nella Provincia Autonoma di Bolzano fino a questo momento. Il database è infatti in continuo aggiornamento da parte dei rilevatori del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano con l'inserimento delle opere già presenti sul territorio ma non ancora rilevate, o installate di recente.



Nel grafico vengono riportate in ascissa i “macro-gruppi” di appartenenza di ogni modello mentre in ordinata la frequenza degli stessi sul territorio. Ogni macro gruppo contiene al suo interno dei sotto-gruppi (rappresentati da tutti i modelli inseriti nel database), come si può vedere nel grafico sottostante.

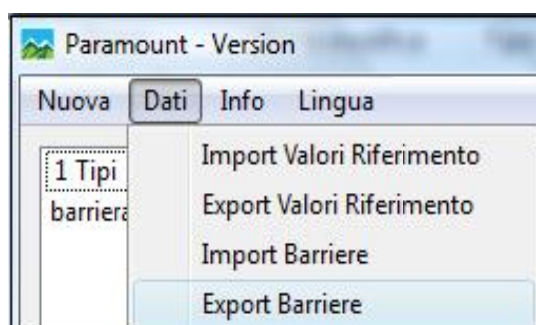


Sull'asse delle ascisse compaiono i modelli, mentre sull'asse delle ordinate viene riportata la percentuale per ogni modello calcolata in riferimento al numero totale di barriere riscontrate per ogni macro-gruppo (CTR: 87, PT: 139, MACCAFERRI: 24, ISOSTOP: 11, GEOBRUGG: 5, ALTRO: 47). La barriera più frequente sul territorio (per i dati finora raccolti) è la PT_B750_08/27/2000, dove il numero 750 indica in questo caso i kJ effettivi per cui la barriera è stata installata.

5.3 Applicazione del metodo di analisi di pericolosità sulle strade statali SS242, SS241 SS508

A seguito della creazione e implementazione del database PARAMount, si è proceduto con la verifica delle barriere presenti sul territorio in corrispondenza delle strade statali SS242, SS241 SS508. Si è pertanto proceduto a controllare che le misure e le caratteristiche geometriche/costruttive

corrispondessero ai modelli a cui erano state associate. Il rilievo di campagna, una volta



[Digitare il testo]

raggiunta la barriera, è consistito nel misurare i diametri delle funi di controvento, nel verificare l'effettiva lunghezza della campata, nel prendere nota del tipo di rete installato, dell'altezza ed il tipo dei montanti, nonché del tipo di dissipatore utilizzato, che come abbiamo già accennato, è un elemento di fondamentale importanza per associare le barriere alle ditte di produzione e quindi anche ai modelli.

5.3.1 *Analisi di pericolosità in assenza di opera di protezione*

Ai fini del calcolo della pericolosità del versante, è stata utilizzata la seguente formula:

$$H = \left(50 - Tr \frac{5}{9} \right) + \frac{I.G.V}{3}$$

Dove:

I.G.V. = Intensità del pericolo geologico sull'arteria di riferimento (**I.G.P.** + **C.V**)(varia da 22 a 150)

I.G.P. = Intensità del pericolo proveniente dalla parete(varia da 50 a 150), funzione di:

- volume dei blocchi(m³)
- volume massimo mobilizzabile per singolo evento(m³)
- stato di decomposizione dell'ammasso roccioso
- assetto giaciturale.

C.V. = Coefficiente di versante, funzione di:

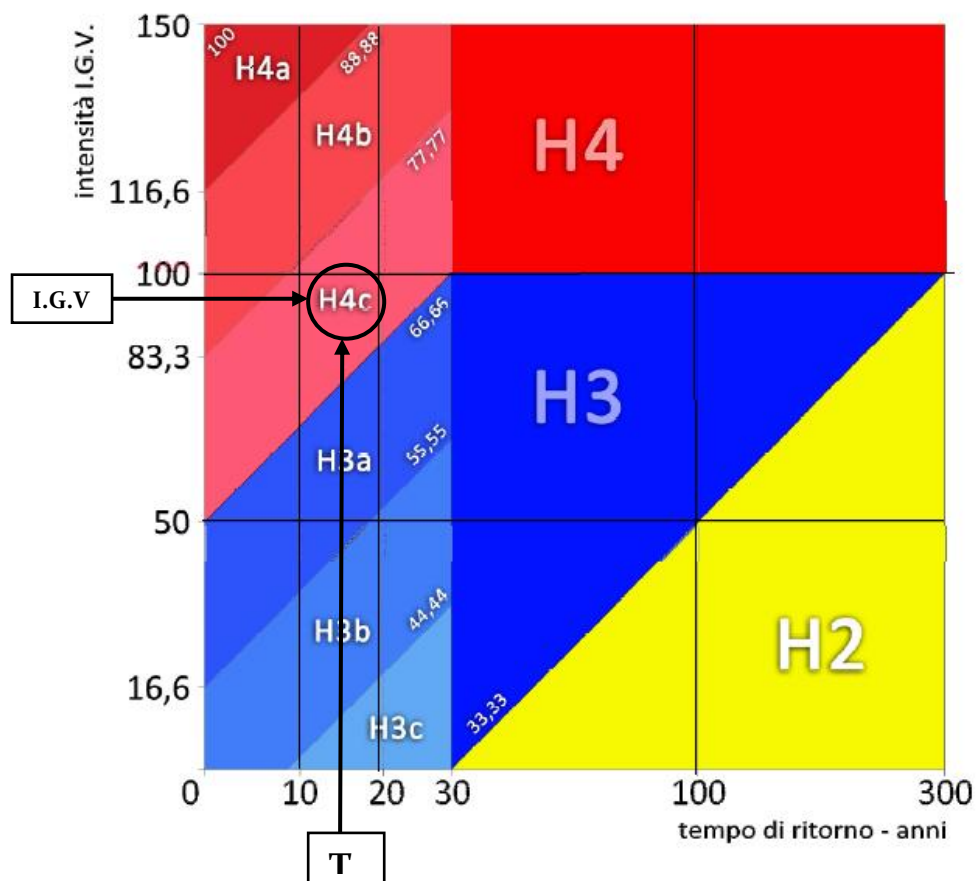
- Pendenza media del versante
- Morfologia del versante
- Tipo di vegetazione presente

Tr = tempo di ritorno

[Digitare il testo]

I.G.P e C.V. sono stati ricavati direttamente in campagna attraverso la compilazione della scheda tecnica raffigurata in figura 10.

Entrando con i valori di I.G.V e Tr trovati, nel grafico seguente si ricavano le classi di pericolosità a cui appartiene il versante.



[Digitare il testo]

Strada	km	Data		
Versante				
Opera				
I.G.P				
Litotipo	Roccia lapidea:	Roccia sciolta:		
A - Volume dei blocchi	> 1 m ³ [15]	0.5 - 1 m ³ [10]	0.1 - 0.5 m ³ [5]	0,1 m ³ [2]
B - Volume evento	> 100 m ³ [20]	10 - 100 m ³ [15]	10 - 5 m ³ [10]	< 5 m ³ [2]
C - Decompressione ammasso	notevole [50]	discreto [20]	basso [10]	compatto [2]
C - Assetto giaciturale	Molto sfavorev [20]	Poco sfavorevole [10]	ininfl. o assente [0]	favorevole [-6]
E - Pendenza versante	75° - 90° [0]	60° - 75° [-5]	45° - 60° [-10]	35° - 45° [-15]
F - Morfologia del versante (l'arresto dei massi)	Sfavorisce nettamente... [0]	Sfavorisce in parte... [-2]	Favorisce in parte... [-4]	Favorisce nettamente... [-6]
G - Vegetazione	Prati pascoli roccia nuda [0]	Cespugliato [-2]	Bosco di conifere [-4]	Bosco ceduo [-6]
Tipo opera	C.V			
H:			L:	Utilita
UTILITA' INTRINSECA DEL SISTEMA DI DIFESA				
buona	sufficiente dimens. opinabile ma sufficiente ad accogliere il potenziale evento; presenza di un collaudo.	insufficiente sistema sicuramente sottodimensionato;	problematico il sistema di difesa peggiora la stabilità del versante	
POSIZIONAMENTO DEL SISTEMA DI DIFESA IN RELAZIONE ALLA MORFOLOGIA DEL VERSANTE				
adeguato	incerto: non possibile determinare l'effettiva adeguatezza del posizionamento dal sopralluogo	inadeguato	problematico: inadeguato posizionamento può addirittura modificare in maniera negativa la stabilità dello stesso	
STATO DELL'OPERA				
buono	discreto richiesta sostituz. manut. di parti non strutturali; necess. modesta pulizia;	sufficiente richiesta sostituz./ manut. parti strutturali non interessanti efficienza sistema; abbondante pulizia.	insufficiente sistema assente; stato conservativo del tutto inadeguato; danni compromettono funzionalità sistema.	problematico stato di manutenzione pregiudica la stabilità del versante rendendo il possibile evento più pericoloso
FOTO NR.		NOTE (NB in caso di suggerimenti per nuove progettazioni inserire MISURE interventist!!!)		
Schema del versante.				

Figura 10 – scheda tecnica del rilevamento in campagna

Nel seguito si riportano i limiti delle zone di pericolo, per il tempo di ritorno compreso tra 0 e 10 anni.

[Digitare il testo]

TR	H3B/H3A	H3A/H4C	H4C/H4B	H4B/H4A	TR	H3B/H3A	H3A/H4C	H4C/H4B	H4B/H4A
10	35,96	69,36	102,66	135,96	5	26,46	59,86	93,16	126,46
9,5	35,04	68,44	101,74	135,04	4,5	25,48	58,88	92,18	125,48
9	34,1	67,5	100,8	134,1	4	24,5	57,9	91,2	124,5
8,5	33,17	66,57	99,87	133,17	3,5	23,52	56,92	90,22	123,52
8	32,22	65,62	98,92	132,22	3	22,54	55,94	89,24	122,54
7,5	31,27	64,67	97,97	131,27	2,5	21,55	54,95	88,25	121,55
7	30,32	63,72	97,02	130,32	2	20,56	53,96	87,26	120,56
6,5	29,36	62,76	96,06	129,36	1,5	19,57	52,97	86,27	119,57
6	28,4	61,8	95,1	128,4	1	18,58	51,98	85,28	118,58
5,5	27,43	60,83	94,13	127,43	0,5	17,59	50,99	84,29	117,59

Il corretto tempo di ritorno dovrebbe essere quello relativo ai fenomeni di pari entità; tuttavia, poiché il metodo è approssimativo, e causa le difficoltà nella ricostruzione degli accadimenti passati, vengono considerati, nella stima di Tr, tutti i fenomeni di cui si ha notizia, indipendentemente dalla loro entità. I valori dei tempi di ritorno sono stati forniti dal servizio Geologia della Provincia Autonoma di Bolzano. Poiché non per tutti i versanti che ho analizzato possedevo il valore esatto, per il chilometraggio preciso, ho provveduto a fare una approssimazione al chilometro più vicino, o a ricavare un valore medio.

Se prendiamo a titolo di esempio la Strada Statale 242, dopo aver estratto, da tutti i dati a nostra disposizione, solo quelli relativi ai chilometraggi che ci interessavano, per il chilometro 2,5 ho scelto ad esempio il tempo di ritorno pari a 10, mentre per il chilometro 3 ho scelto il valore 8, media tra i diversi tempi di ritorno per il km in questione.

[Digitare il testo]

I valori di pericolosità H ottenuti per i versanti analizzati sono riportati nella tabella sottostante:

STRADA	km	IGP	CV	IGV	TR	H	CLASSE
SS242	2.5	100	-7	93	10	75,4	H4C
	3	92	-7	85	8	73,9	H4C
	3	92	-7	85	8	73,9	H4C
	5.05	94	-12	82	10	71,8	H4C
	4.5	87	-7	80	8	72,2	H4C
	6.05	122	-7	115	9	83,3	H4B
SS508	14.8	100	-16	84	10	72,4	H4C
	15	82	-10	72	8	69,6	H4C
	15.08	74	-16	58	4	67,1	H4C
	20.9	74	-14	60	10	64,4	H3A
	20.9	74	-14	60	10	64,4	H3A
	20.9	74	-14	60	10	64,4	H3A
SS241	7	87	-16	71	5	70,9	H4C
	7	87	-11	76	5	72,6	H4C
	7.05	95	-11	84	7	74,1	H4C
	9.05	87	-9	78	6	72,7	H4C
	11.6	82	-14	68	10	67,1	H3A
	11.7	90	-16	74	10	69,1	H4C
	11.9	92	-16	76	10	69,8	H4C

5.3.2 Analisi di pericolosità in presenza di opera di protezione

Come già espresso in dettaglio nel capitolo precedente l'analisi della pericolosità del versante in presenza di opera protettiva passa attraverso la determinazione della Priorità di Intervento, espressa in 5 classi; A(urgenza),B,C,D,E(bassissima priorità di intervento).

Questa viene ricavata dall'intersezione su di un grafico tra l'Utilità del sistema di difesa (dipendente dal dimensionamento dell'opera ed il suo corretto posizionamento), e lo Stato del sistema di protezione. Utilità e Stato dell'opera sono ricavati anch'essi durante il rilievo di campagna(vedi figura 10).

Una volta determinata la Priorità di intervento, il valore della pericolosità H^* a partire da H viene ricavato utilizzando le seguenti relazioni:

[Digitare il testo]

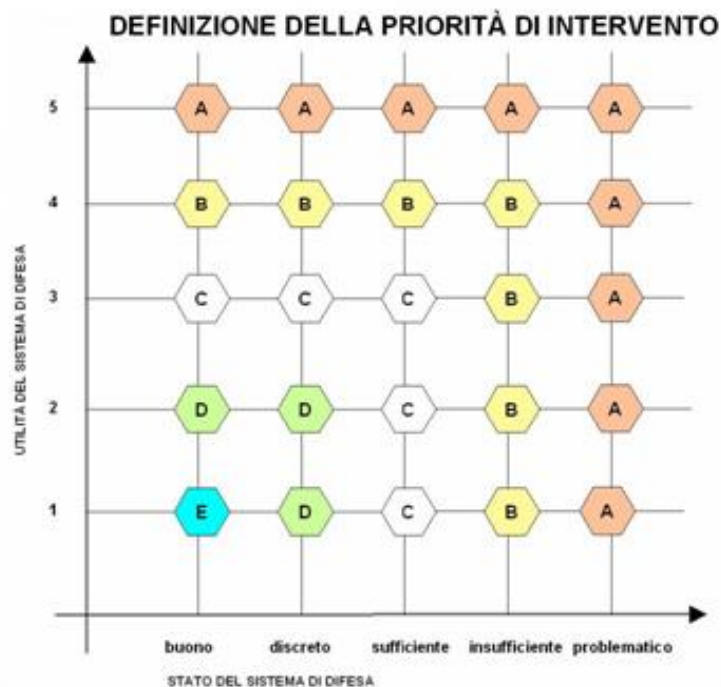
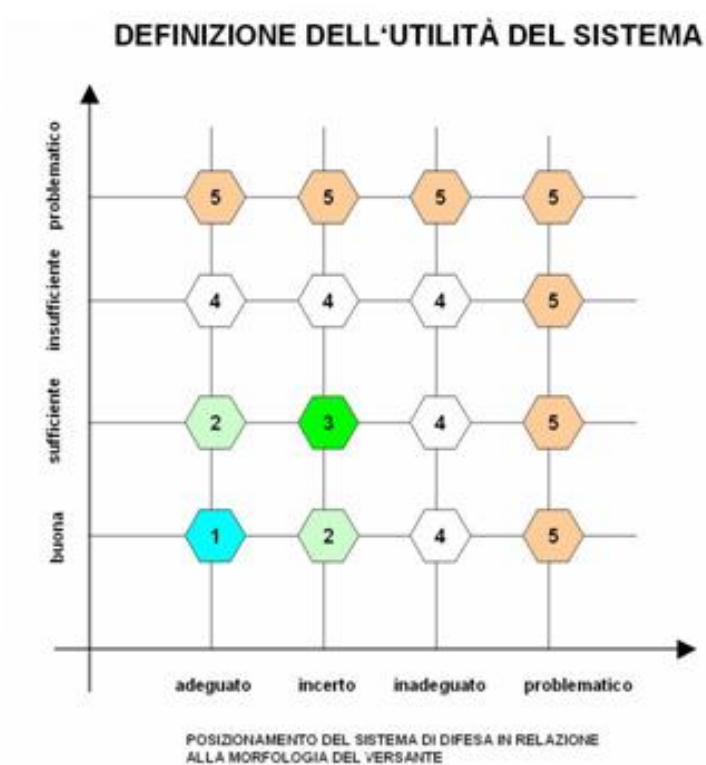
A: $H^* = H + 100/9$

B: $H^* = H$

C: $H^* = H - 100/9$

D: $H^* = H - 200/9$

E: $H^* = H - 100/3$



Dall'analisi dei grafici sopra riportati si evince che la priorità di intervento sull'opera dipende essenzialmente da tre parametri:

[Digitare il testo]

- Posizionamento dell'opera
- Dimensionamento dell'opera
- Stato dell'opera

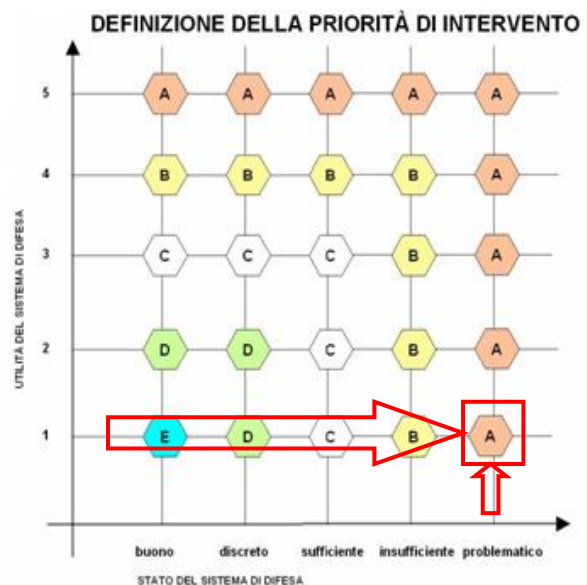
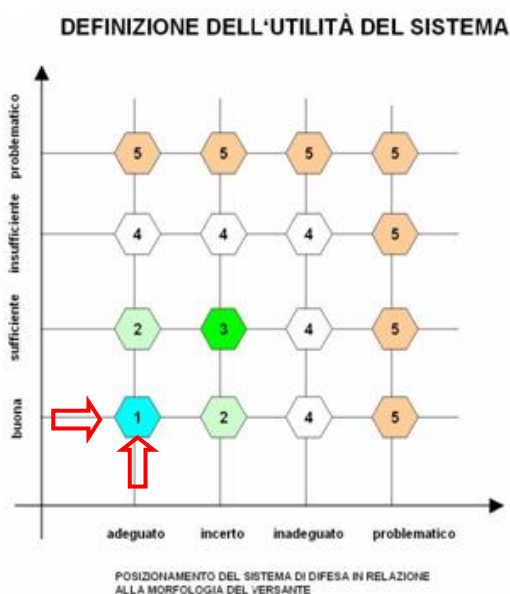
Poiché la pericolosità è direttamente correlata alla priorità di intervento tramite le formule riportate in precedenza, una volta fissate le condizioni di sicurezza del versante:

- A: accentua la pericolosità del versante
- B: non ha influenza sulla pericolosità del versante
- C,D,E: migliorano la condizione di sicurezza rispettivamente di circa il 20%,30% e 40%

è automaticamente fissata anche la pericolosità.

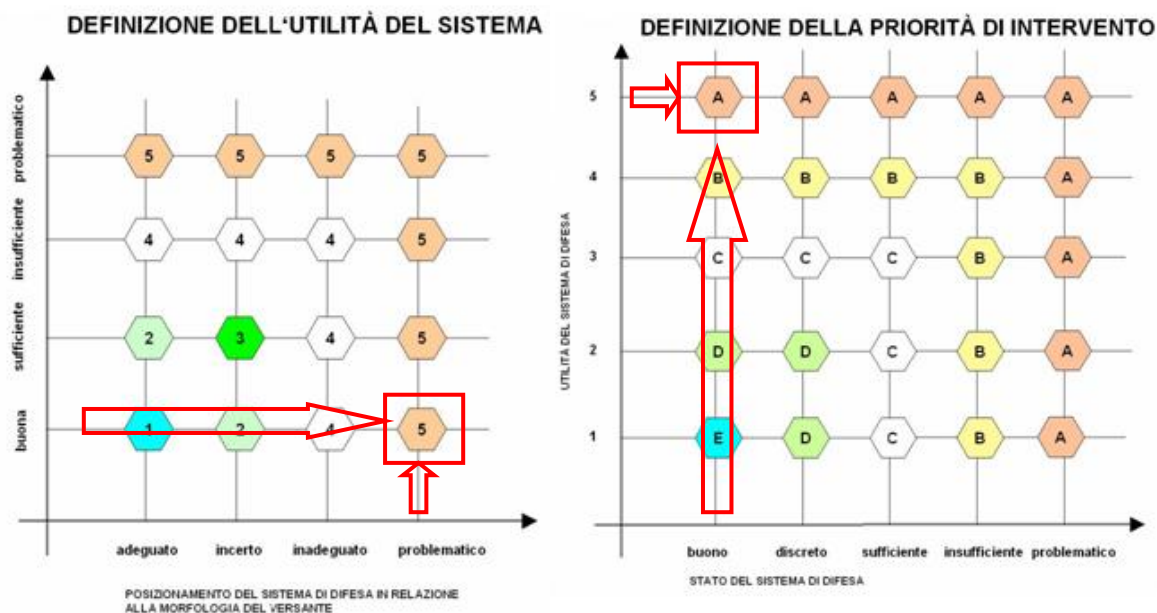
Sarà quindi sufficiente analizzare i tre parametri che concorrono alla definizione della priorità di intervento per fare delle considerazioni sulla pericolosità del versante provvisto di opera di protezione.

- A: si verifica un peggioramento delle condizioni di sicurezza del versante nel caso in cui anche solo uno dei tre parametri risulti “problematico”; infatti, otteniamo una A:
 1. se il posizionamento dell'opera è “adeguato” e il suo dimensionamento è “buono”, ma lo stato dell'opera è problematico.

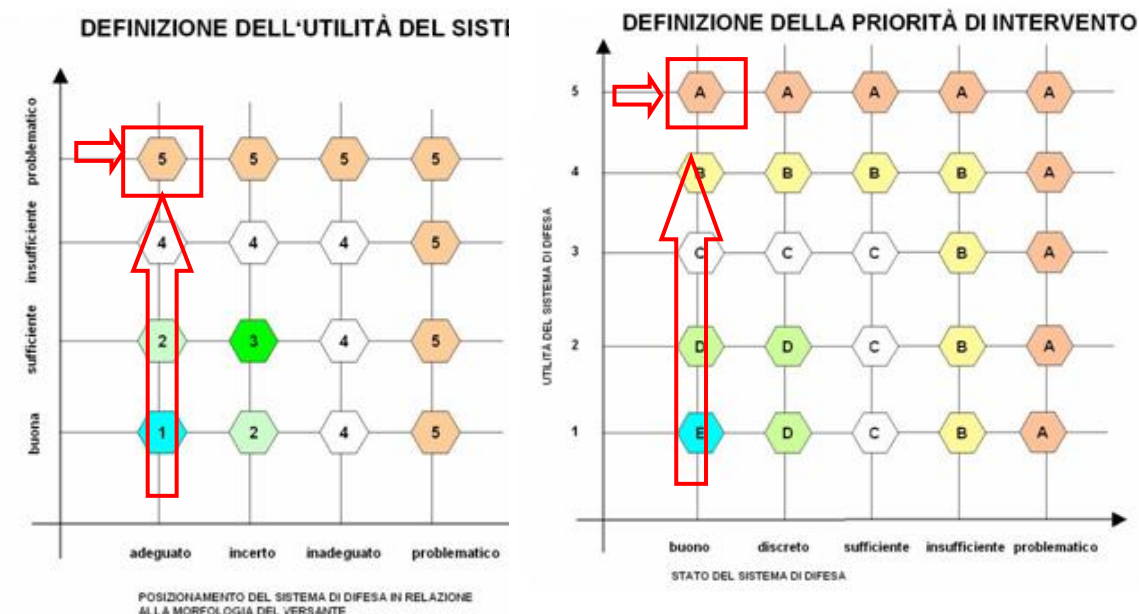


[Digitare il testo]

2. se lo stato e il dimensionamento sono “buoni” ma il posizionamento è problematico.



3. se lo stato è “buono” e il posizionamento “adeguato” ma il dimensionamento è problematico.



[Digitare il testo]

- B: affinché le condizioni di sicurezza del versante si mantengano invariate, analogamente al caso precedente, è sufficiente che uno solo dei tre parametri risulti “insufficiente” o “inadeguato”.
- C,D,E : a parità di “stato” dell’opera il parametro che influisce maggiormente è il dimensionamento dell’opera, poiché otteniamo un miglioramento delle condizioni di sicurezza del versante anche con un posizionamento “incerto”.

In conclusione si intuisce facilmente che la validità del sistema di difesa dipende fortemente dalla manutenzione dello stesso. Infatti, come evidenziato nel punto 1, l’efficienza di un’opera progettata e dimensionata nel modo corretto può con il passare degli anni diminuire fino ad annullarsi completamente, e la presenza dell’opera stessa può addirittura peggiorare le condizioni di pericolosità che il versante presentava quando ne era sprovvisto.

Occorre inoltre osservare che la barriera paramassi influisce sulla diminuzione della pericolosità per un massimo circa del 40% quindi può non essere sufficiente nel caso in cui la pericolosità del versante prima dell’installazione dell’opera fosse molto elevato. Infatti, come evidenziato nella tabella seguente, al km 6,05 della SS242 è stata installata una barriera paramassi che presenta il massimo dell’efficienza, ma il cui effetto è lo stesso di quello di una barriera le cui condizioni non sono ottimali, come quella installata al km 20,9 della SS508.

[Digitare il testo]

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

STRADA	km	IGV	TR	H	CLASSE	Priorità manutenzione	H*	CLASSE
SS242	2.5	93	10	75,4	H4C	C	64,33	H3A*
	3	85	8	73,9	H4C	D	51,67	H3B*
	3	85	8	73,9	H4C	D	51,67	H3B*
	5.05	82	10	71,8	H4C	D	49,56	H3B*
	4.5	80	8	72,2	H4C	D	50,00	H3B*
	6.05	115	9	83,3	H4B	E	50,00	H3B*
SS508	14.8	84	10	72,4	H4C	E	39,11	H3C*
	15	72	8	69,6	H4C	B	69,56	H4C*
	15.08	58	4	67,1	H4C	B	67,11	H4C*
	20.9	60	10	64,4	H3A	C	53,33	H3B*
	20.9	60	10	64,4	H3A	B	64,44	H3A*
	20.9	60	10	64,4	H3A	C	53,33	H3B*
SS241	7	71	5	70,9	H4C	E	37,56	H3C*
	7	76	5	72,6	H4C	E	39,22	H3C*
	7.05	84	7	74,1	H4C	E	40,78	H3C*
	9.05	78	6	72,7	H4C	E	39,33	H3C*
	11.6	68	10	67,1	H3A	D	44,89	H3C*
	11.7	74	10	69,1	H4C	E	35,78	H3C*
	11.9	76	10	69,8	H4C	E	36,44	H3C*

5.4 Analisi del rischio

Abbiamo visto come per analizzare il rischio sia necessario stimare la pericolosità (H) e la vulnerabilità (V). In questo modo il rischio su di una strada ubicata in prossimità di un versante sprovvisto di opere protettive, viene calcolato secondo la seguente relazione:

$$R = H * V$$

Con H = pericolosità e V = vulnerabilità

Dopo aver esposto i passi principali per la determinazione della pericolosità, passiamo adesso alla valutazione della vulnerabilità, che ricordiamo essa rappresenta il grado di perdita che è indotto su un certo elemento, o gruppo di elementi esposti a rischio a causa del verificarsi di un fenomeno naturale di una certa intensità.

[Digitare il testo]

Nel nostro caso di studio l'elemento esposto a rischio è la rete di trasporto della Provincia Autonoma di Bolzano e le infrastrutture ad essa connesse. La vulnerabilità è intesa in questo ambito come la capacità della rete stradale di assorbire gli effetti di eventi che riducono o azzerano le prestazioni di alcuni archi o nodi stradali. In sostanza, in relazione al grado di connessione della rete, si vuole valutare quanto sia grave la riduzione di capacità di un arco o la sua inutilizzabilità. Per questo motivo la Vulnerabilità viene considerata, in questo caso di studio, come funzione fortemente dipendente dal valore del Traffico Medio Giornaliero (TGM) che transita su una determinata strada, e il numero di possibili tracciati alternativi. Se infatti la disattivazione di un arco stradale rende nullo o difficoltoso il collegamento fra le parti della rete, allora il grado di vulnerabilità della rete dipendente da questo elemento viene ritenuto elevato; in caso contrario il grado di vulnerabilità verrà considerato di bassa entità.

La tabella di riferimento per il calcolo della vulnerabilità è la seguente:

VULNERABILITÀ STRADE (VS)				
Parametri	Intervalli dei valori			punteggio
Traffico giornaliero medio (TGM)				$T = TGM/3000$
Unico accesso alla vallata	Ci sono altri accessi	In parte il secondo accesso	Unico accesso	
punteggio	0	1,5	2,5	U
			Vulnerabilità	t+u

I valori del T.G.M. sono stati forniti dal Dipartimento di Infrastrutture (DISTART) dell'università di Bologna, che sotto il coordinamento dell' Ing. Federico Rupì, ha fissato, entro la fine del 2010, la definizione di una metodologia per la determinazione di un Indice Sintetico di Vulnerabilità (i.s.v), e la sua normalizzazione in scala "0-1".

Di seguito si riporta una tabella sintetica con alcuni dei parametri forniti dal dipartimento, tra cui il T.G.M.

Anno	N° postazione	Strada	Km	Località	Direzione	TGM
2009	38	SS. 241	26,09	Passo Costalunga	Vigo di Fassa (TN)	1.296
2009	39	SS. 241	11,80	Ponte Nova	P.so Costalunga	2.931
2009	38	SS. 241	26,09	Passo Costalunga	Bolzano	1.260
2009	39	SS. 241	11,80	Ponte Nova	Bolzano	2.881
2009	40	SS. 242	7,30	San Pietro	P.so Sella	1.516

[Digitare il testo]

2009	41	SS. 242	26,90	Passo Sella	Canazei (TN)	748
2009	62	SS. 242	22,55	Selva di Val Gardena	Canazei (TN)	1.733
2009	40	SS. 242	7,30	San Pietro	Ponte Gardena	1.588
2009	41	SS. 242	26,90	Passo Sella	Ponte Gardena	736
2009	62	SS. 242	22,55	Selva di Val Gardena	Ponte Gardena	1.561
2009	47	SS. 508	18,75	Sarentino	P.so Pennes	2.359
2009	47	SS. 508	18,75	Sarentino	Bolzano	2.382

Nella tabella vediamo riportato l'anno, la strada, il numero della postazione di rilevamento, la località ed il km al quale è posizionata al stazione e la direzione. Le caselle evidenziate in giallo indicano i valori di T.G.M. scelti.

Questi i valori della vulnerabilità delle strade in esame ottenuti:

STRADA	km	TGM	U	T	V	Vnm
SS242	2.5	1588	2,5	0,53	3,03	0,87553
	3	1588		0,53		
	3	1588		0,53		
	5.05	1588		0,53		
	4.5	1588		0,53		
	6.05	1588		0,53		
SS508	14.8	2359	2,5	0,79	3,29	0,950867
	15	2359		0,79		
	15.08	2359		0,79		
	20.9	2359		0,79		
	20.9	2359		0,79		
	20.9	2359		0,79		
SS241	7	2881	2,5	0,96	3,46	1
	7	2881		0,96		
	7.05	2881		0,96		
	9.05	2881		0,96		
	11.6	2881		0,96		
	11.7	2881		0,96		
	11.9	2881		0,96		

Il valore di U (unico accesso alla vallata) è risultato uguale per tutte e tre le strade e per tutti i chilometri, ed è stato desunto utilizzando google maps, per osservare se per i tratti di strada da considerare fossero presenti delle strade secondarie di accesso.

[Digitare il testo]

Per il passo successivo, che consiste nel calcolare il rischio per i diversi tratti stradali è stato deciso di fare riferimento al valore massimo di vulnerabilità calcolato (3,46), e di normalizzare in scala 0-1 sul tale valore. Di conseguenza i valori di V delle altre due strade sono stati rapportati a 3,46 e sono stati indicati con il termine **V_{nm}** (vulnerabilità rapportata al valore massimo di V tra le tre strade), come mostrato in tabella .

Con questi valori di vulnerabilità si è calcolato il rischio con la formula classica ($R = H \cdot V$), sia per quanto riguarda il caso di versante sprovvisto di opera protettiva sia riguardo al rischio R^* del versante provvisto di opera di protezione. I risultati sono poi stati associati a 4 classi definite in un intervallo da 0 a 100, dove 100 corrisponde al valore massimo di pericolosità ottenuto nelle condizioni peggiori.

La matrice delle classi di rischio così creata viene riportata di seguito:

rischio assoluto(0-100)	r0	nessun rischio	<10
	r1	rischio moderato	11-30
	r2	rischio medio	31-50
	r3	rischio elevato	51-79
	r4	rischio molto elevato	80-100

[Digitare il testo]

Nella tabella sottostante sono indicati i valori di R e R* calcolati.

STRADA	km	TGM	U	T	V	Vnm	Rnm	classe(0-100)	R*nm	classe(0-100)
SS242	2.5	1588	2,5	0,53	3,03	0,87553	66,05	r3	56,33	r*3
	3	1588		0,53			64,69	r3	45,24	r*2
	3	1588		0,53			64,69	r3	45,24	r*2
	5.05	1588		0,53			62,84	r3	43,39	r*2
	4.5	1588		0,53			63,23	r3	43,78	r*2
	6.05	1588		0,53			72,96	r3	43,78	r*2
SS508	14.8	2359	2,5	0,79	3,29	0,950867	68,89	r3	37,19	r*2
	15	2359		0,79			66,14	r3	66,14	r*3
	15.08	2359		0,79			63,81	r3	63,81	r*3
	20.9	2359		0,79			61,28	r3	50,71	r*2
	20.9	2359		0,79			61,28	r3	61,28	r*3
	20.9	2359		0,79			61,28	r3	50,71	r*2
SS241	7	2881	2,5	0,96	3,46	1	70,89	r3	37,56	r*2
	7	2881		0,96			72,56	r3	39,22	r*2
	7.05	2881		0,96			74,11	r3	40,78	r*2
	9.05	2881		0,96			72,67	r3	39,33	r*2
	11.6	2881		0,96			67,11	r3	44,89	r*2
	11.7	2881		0,96			69,11	r3	35,78	r*2
	11.9	2881		0,96			69,78	r3	36,44	r*2

Nella pagina successiva è riportata la tabella con i risultati dell'analisi completa compresi i valori di pericolosità.

[Digitare il testo]

STRADA	km	IGV	TR	H	CLASSE	H*	CLASSE	V	Vnm	Rnm	classe(0-100)	R*nm	classe(0-100)
SS242	2.5	93	10	75,4	H4C	64,33	H3A*	3,03	0,87553	66,05	r3	56,33	r*3
	3	85	8	73,9	H4C	51,67	H3B*			64,69	r3	45,24	r*2
	3	85	8	73,9	H4C	51,67	H3B*			64,69	r3	45,24	r*2
	5.05	82	10	71,8	H4C	49,56	H3B*			62,84	r3	43,39	r*2
	4.5	80	8	72,2	H4C	50,00	H3B*			63,23	r3	43,78	r*2
	6.05	115	9	83,3	H4B	50,00	H3B*			72,96	r3	43,78	r*2
SS508	14.8	84	10	72,4	H4C	39,11	H3C*	3,29	0,95087	68,89	r3	37,19	r*2
	15	72	8	69,6	H4C	69,56	H4C*			66,14	r3	66,14	r*3
	15.08	58	4	67,1	H4C	67,11	H4C*			63,81	r3	63,81	r*3
	20.9	60	10	64,4	H3A	53,33	H3B*			61,28	r3	50,71	r*2
	20.9	60	10	64,4	H3A	64,44	H3A*			61,28	r3	61,28	r*3
	20.9	60	10	64,4	H3A	53,33	H3B*			61,28	r3	50,71	r*2
SS241	7	71	5	70,9	H4C	37,56	H3C*	3,46	1	70,89	r3	37,56	r*2
	7	76	5	72,6	H4C	39,22	H3C*			72,56	r3	39,22	r*2
	7.05	84	7	74,1	H4C	40,78	H3C*			74,11	r3	40,78	r*2
	9.05	78	6	72,7	H4C	39,33	H3C*			72,67	r3	39,33	r*2
	11.6	68	10	67,1	H3A	44,89	H3C*			67,11	r3	44,89	r*2
	11.7	74	10	69,1	H4C	35,78	H3C*			69,11	r3	35,78	r*2
	11.9	76	10	69,8	H4C	36,44	H3C*			69,78	r3	36,44	r*2

Dai risultati ottenuti si osserva che le classi di rischio risultano essere piuttosto elevate. Ci troviamo infatti sempre all'interno della fascia di valori r_3 (rischio elevato) che in presenza di opera di protezione si riduce al valore r_2 (rischio medio).

Si nota che, siccome la vulnerabilità ha un valore percentuale, è la pericolosità il parametro più incidente nel calcolo del rischio; infatti quando la vulnerabilità ha valore massimo il rischio coincide con la pericolosità.

Tuttavia la stima del rischio non può prescindere dalla vulnerabilità, che può comportare un annullamento del rischio anche con pericolosità molto elevata.

Conclusioni

Nel contesto dell'analisi del rischio da frane di crollo, il lavoro di tesi ha considerato gli effetti della presenza di strutture di protezione passiva, con particolare attenzione rivolta alle barriere paramassi a rete. Il lavoro è stato sviluppato in collaborazione con la Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) e si colloca tra le attività di ricerca del progetto PARAmount (*Improved accessibility reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazard in a changing climate*).

Nell'elaborato sono stati presi in considerazione i temi relativi alla valutazione della pericolosità, del rischio e della gestione del rischio, con particolare attenzione ai fenomeni di crollo da pareti rocciose che interessano il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano.

In particolare nei primi tre capitoli si è descritto il contesto del lavoro di tesi.

Nel primo capitolo è stata presentata brevemente un'analisi dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti basata su quanto indicato da Varnes(1978), con riferimento ai diversi tipi di movimento e di materiale, con particolare attenzione ai fenomeni di crollo.

Il secondo capitolo ha avuto come oggetto gli interventi di protezione impiegati al fine di ridurre il rischio associato al distacco di elementi lapidei con particolare attenzione rivolta alle barriere paramassi di tipo elastico descritte dal punto di vista progettuale anche in riferimento alla normativa vigente.

I temi relativi alla valutazione della pericolosità, e del rischio, in termini generali, con particolare attenzione ai fenomeni di crollo di materiale roccioso sono stati descritti nel capitolo 3 in cui sono stati descritti i diversi parametri che intercorrono alla valutazione, quali pericolosità, vulnerabilità, intensità ed elementi a rischio.

Si passa quindi nei capitoli 4 e 5 alla descrizione dell'iter procedurale di analisi del rischio adottato nel lavoro di tesi che si conclude con l'applicazione di un metodo esistente

Per l'individuazione del rischio specifico in alcuni tratti stradali dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

All'interno di una più generale strategia di previsione e prevenzione, la tesi si concentra sugli effetti, in termini di analisi di pericolosità, della presenza di barriere paramassi a rete di tipo elastico, strutture metalliche ad alta deformabilità che hanno lo scopo di intercettare e arrestare la caduta di blocchi lapidei lungo un versante. Tra gli interventi di difesa passivi dalla caduta massi queste strutture sono utilizzate con grande frequenza, anche grazie alla loro versatilità e al basso impatto ambientale.

La prima fase del lavoro, svolta presso la Provincia Autonoma di Bolzano ha avuto come oggetto la messa a punto di un ricco database di queste strutture, come attualmente installate nella Provincia. La raccolta dati ha riguardato sia un rilievo d'archivio concernente progetti, calcoli, disegni, certificazioni, libretti di manutenzione e libretti di montaggio, che un rilievo sul campo, finalizzato alla identificazione delle opere e alla verifica dello stato di conservazione delle stesse, dato cruciale nella valutazione dell'efficacia del sistema di difesa e quindi sulla valutazione di pericolosità del versante.

Nella seconda fase del lavoro le opere sono state classificate e implementate in un database (PARAMount), appositamente creato per dialogare con il software di analisi del rischio sviluppato all'interno del progetto VISO. Nel database sono stati riportati in particolare: la geometria dell'opera, la tipologia, le caratteristiche geometriche e meccaniche dei componenti strutturali, la posizione e lo stato di conservazione.

Il database così creato si è rivelato di grande utilità per fare una stima della distribuzione delle barriere sul territorio e per l'individuazione dei tratti più problematici.

Sono stati scelti di conseguenza tre tratti stradali che presentavano il maggior numero di barriere paramassi ad alta deformabilità, e si è proceduto a valutare la pericolosità e quindi il rischio in corrispondenza di alcuni versanti ed in presenza di barriere paramassi a rete di diversa tipologia e differente stato di conservazione.

L'analisi effettuata ha dimostrato che la validità del sistema di difesa dipende fortemente dalla manutenzione dello stesso. Infatti, l'efficienza di un'opera progettata e dimensionata nel modo corretto può con il passare degli anni diminuire fino ad annullarsi completamente, e la presenza dell'opera stessa può addirittura peggiorare le condizioni di pericolosità che il versante presentava quando ne era sprovvisto.

Il punto di forza del metodo infatti risiede nella sua semplicità nella capacità del metodo di avere una stima attendibile delle condizioni di sicurezza del territorio consentendo di localizzare in maniera semplice e speditiva le opere di protezione mal funzionanti e i versanti più a rischio. In questo modo nell'ambito della gestione del rischio e della pianificazione degli interventi di mitigazione, è un valido aiuto nella determinazione puntuale degli interventi di messa in sicurezza da realizzare. Il metodo permette inoltre di osservare ad esempio se le barriere installate negli ultimi dieci anni hanno contribuito a migliorare le condizioni di sicurezza dei versanti, se l'introduzione delle nuove norme e di nuovi metodi di progettazione delle barriere paramassi ad alta deformabilità ha contribuito in modo significativo al miglioramento delle condizioni di pericolosità o, ancora, quali sono le cause principali che influiscono sulla cattiva efficienza dell'opera di protezione.

Nell'ambito del metodo analizzato nel contesto del lavoro di tesi resta aperto un tema importante e degno di approfondimento. Vale infatti la pena di osservare che per molte barriere paramassi, installate in condizioni di somma urgenza, non è stato possibile avere attendibili dati di progetto. Questi dati rappresentano una voce importante all'interno del calcolo della pericolosità (voce: *dimensionamento dell'opera*). Per queste barriere è necessario operare analisi di tipo numerico ai fini di determinarne, al minimo, le caratteristiche di assorbimento energetico

(quando non le caratteristiche di deformazione). Tali analisi necessitano certamente di informazioni sulla geometria dell'opera e sulle caratteristiche meccaniche dei suoi componenti. In quest'ottica, i dati raccolti nel database PARAMount, possono essere riguardati quindi come punto di partenza essenziale per l'analisi numerica di tutte quelle barriere attualmente installate ma di cui non si conosce il reale comportamento. Tali analisi possono infatti fornire, con ottima approssimazione, ad una descrizione dell'efficacia della barriera in presenza di impatto (e.g. l'altezza residua, il massimo allungamento e la capacità di assorbimento energetico) permettendo di pervenire ad una stima attendibile della pericolosità del versante oggetto di studio.

BIBLIOGRAFIA

Aleotti P., Polloni P. "valutazione e mitigazione del rischio frane "(2005)

Tanzini M., "fenomeni franosi e opere di stabilizzazione" (2001)

A. Keith Turner, Robert I. Schuster "landslides investigation and mitigation" special report 247 national academy press Washington, d.c. 1996

Claudia Borgarello, Carlo Troisi, Daniele Bormioli - Arpa piemonte "protezione della viabilità alpina"

Peila D. "opere di protezione contro la caduta massi, analisi di valutazione e mitigazione del rischio idrogeologico.

Arpa Piemonte (2004), progetto iffi – inventario fenomeni franosi in italia, l'esperienza in piemonte. centro regionale per le ricerche geologiche e territoriali.

Azzoni A., La Barbera G. & Mazzà G. (1991), studio con modello matematico e con sperimentazione in sito del problema di caduta massi. bollettino associazione mineraria subalpina, Torino 28 (4), pp. 547-573.

Cruden D.M. & Varnes D.J. (1996), landslide types and processes. in landslides investigation and mitigation, turner a.k. & schuster r.l. (eds), transportation research board, national research council, special report n. 247

Varnes d.j. (1978), slope movement types and processes. in schuster r.l., and krizek r.j. (eds) landslides analysis and control.

Lorenzo Del Maschio, Giampiero Gozza, Daniela Piacentini, Marco Pizziolo, Mauro Soldati, “previsione delle traiettorie di blocchi mobilizzati da frane di crollo: applicazione e confronto di modelli”.

werner gerber, “direttiva per l’omologazione delle reti paramassi” istituto federale di ricerca wsl, birmensdorf.

linee guida per la salvaguardia dei beni naturali dal rischio di frana” – fascicolo ii – “linee guida per il rischio da frane”

fell r. et al., “guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning”, env. geol., 102: 85-98, 2008.

sabatino cuomo, “rischio da frana: analisi e mitigazione” laram school landslide risk assessment and mitigation - university of salerno.

ANPA ,agenzia nazionale per la protezione dell’ambiente, “atlante delle opere di sistemazione dei versanti, Roma (maggio 2001).

A.G.I., commissione agi per la normativa geotecnica: “raccomandazioni sui pali di fondazione“. questioni di geotecnica n. 3, Roma, giugno 1982.

Casadio m., elmi c.: “il manuale del geologo”. pitagora editrice, Bologna 1997.

Hoek e., Bray jw.: “rock slope engineering”- 3 ed., imm, Londra.

Maccaferri s.p.a.: “soluzioni per l’ambiente”. brochure documentaria, Bologna, 1997.

Paronuzzi P., Cocco A.: “impatto di blocchi contro barriere paramassi sui versanti naturali (Friuli)”. geologia tecnica e ambientale n. 4, ottobre dicembre 1994.

Quaderno del geologo, provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige – “pericolo di caduta massi sulle strade: la strategia di previsione e prevenzione adottata dal dipartimento dei lavori pubblici della provincia di Bolzano” (2010)

Domenico Ligato, prof. ing. Virgilio Anselmo, dott. geol. massimo Comedini, Natams, APAT, agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, dipartimento difesa del suolo servizio istruttorie, piani di bacino, raccolta dati e tecnologie del sito: “atlante delle opere di sistemazione fluviale”.

European Organisation For Technical Approvals, stabilito in conformità all'appendice ii della direttiva cee/89/106 del 21 dicembre 1988 sull'armonizzazione delle leggi, regolamenti e disposizioni amministrative degli stati membri in tema di prodotti per l'edilizia (direttiva prodotti da costruzione). (direttive prodotti da costruzione) “guida al rilascio del benestare tecnico europeo di kit paramassi edizione 01-02-2008

Agostimacchio M., Olita S. (2002) – “elementi di ritenuta paramassi. EPC libri, Roma”.

Giani G.P. (1997) – “caduta massi. Helvelius, benevento.

Giani G.P (1992) – “Rock Slope Stability Analysis. Balkema, Rotterdam.

Budetta P., Panico M. – “il metodo Rockfall Hazard rating System modificato per la valutazione del rischio da caduta amssi sulle vie di comunicazione”. Geologia tecnica & Ambientale.

Locatelli., (2005) – “Analisi del rischio di caduta amssi lungo un tratto della Gardesana Occidentale. GEAM, Torino.

Peila D., Pelizza S. (1998) – “Linee guida per la classificazione e la certificazione di comportamento di barriere paramassi a rete. GEAM, Torino.

Peila D., Pelizza S., Sassudelli F.(1995) – “Prove in scala reale su barriere paramassi deformabili a rete. GEAM”, Torino.

PAGINE WEB CONSULTATE

www.eota.be (european organisation for Technica Approvals)

www.provincia.bz.it

www.maccaferri.it

<http://geology.utah.gov>

<http://www.isprambiente.it/site/it-IT>

www.geobrugg.com

www.incofil.com

RINGRAZIAMENTI

E' difficile scrivere dei ringraziamenti per diversi motivi. Il primo, perché sono tantissime le persone che hanno contribuito a formare la persona che sono oggi ed è impensabile riuscire ad elencarle tutte in una paginetta o poco più (anche se loro lo sanno), il secondo perché, anche se con la più grande gioia di aver finalmente raggiunto un traguardo importante come la laurea, si ha sempre l'impressione di perdere qualcosa, ad esempio gli amici ed i "collegi" che mi hanno accompagnato in questi anni, i professori stessi nel proficuo rapporto di dare-avere (non in senso stretto), l'ambiente stesso, parte di un'esperienza unica ed indimenticabile che costituisce una parte fondamentale di vita. La paura e l'incertezza per quello che verrà dopo, e la consapevolezza di dover rimettere tutto in gioco un'altra volta. Il terzo, il meno serio, il fatto che dopo sei anni di ingegneria le mie capacità nello scrivere qualcosa che non sia una formula si sono parecchio "arrugginite".

A conclusione di questo lavoro, in cui spero di avere dato conferma di essere stata all'altezza di quello che mi è stato chiesto di fare, credo sia doveroso ringraziare le persone che più hanno contribuito alla sua (speriamo buona) riuscita.

Vorrei ringraziare il professore Guido Gottardi, per avermi permesso di svolgere la tesi presso il dipartimento DISTART dell'università, dipartimento di notevole prestigio, e per avermi offerto un tema interessante ed ambizioso.

I più sentiti ringraziamenti alla dottoressa Laura Govoni, per avermi seguito con interesse ed entusiasmo, per la disponibilità, la pazienza ed i preziosi consigli; al mio correlatore Marco Ranalli, che con il suo fondamentale aiuto ha reso possibile lo svolgimento di questo lavoro, sempre disponibile a risolvere i miei dubbi ed i miei errori.

Vorrei ringraziare tutti i collaboratori dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali, per la disponibilità, l'attenzione, la gentilezza e la simpatia che mi hanno dimostrato per l'intero periodo trascorso a Bolzano.

I ringraziamenti più sentiti a Claudia Strada, soprattutto per la sua professionalità ma anche perché con la sua contagiosa allegria, semplicità e schiettezza, ha reso ogni giornata speciale.

Gianluca Cotza, Verena Larcher e Martina Stefani per il tempo dedicatomi per i rilievi in campagna e per avermi aiutato nella parte più strettamente geologica del mio lavoro, che altrimenti non avrei potuto concludere.

Un grazie affettuoso a Thomas ed Elisabetta per le bellissime giornate e serate passate assieme all'insegna della spensieratezza e dell'allegria.

Un ringraziamento opportuno a tutti i miei compagni ingegneri di questi anni con cui ho passato momenti indimenticabili al di là dello studio e con cui sono sicura di continuare una sincera amicizia.

Il pensiero più affettuoso va a Francesca, con cui ho condiviso e continuo a condividere tutte le mie giornate, per avermi aiutato e supportato nel momento del bisogno, per tutte le parole di conforto, per gli abbracci, per le incazzature che mi hanno aiutato a crescere, per aver sempre creduto in me, ma soprattutto per il bene che mi dimostra in ogni piccolo gesto e in ogni parola che mi riserva.

A mia sorella Silvia su cui posso sempre contare (e non solo per il legame di parentela che ci lega), per la pazienza che ha dimostrato in questo ultimo periodo di stress intenso, per le occhiate che ogni tanto mi lancia (anche adesso in biblioteca) ma che mi fanno un sacco ridere.

A proposito di mia sorella Silvia, un grazie di cuore a Marialuisa ed Anna che se la portano sempre dietro (vi capisco non è facile), ma sostanzialmente perché le vogliono un mondo di bene..... volete bene anche a me vero? Perché io ve ne voglio tanto e so che posso sempre contare su di voi, grazie.

E ancora Andrea, perché è e sarà sempre un punto di riferimento, per la sua pignoleria che lo rende sicuramente unico (per fortuna c'è solo lui così pignolo

nel gruppo), nonché per le bellissime serate(alcoliche) passate assieme e tutti i momenti indimenticabili; grazie anche per tutte le lavate di capo e per tutte le arrabbiate che mi hai fatto prendere, ho imparato tanto (e va bene te lo dico, “è vero hai sempre ragione”, ma non ti montare la testa).

Un pensiero particolare ad Antonello, la new entry della casa, che ha fatto irruzione nelle nostre vite come un uragano, portando allegria, gioia di vivere, e spensieratezza. Perché con il suo carattere mi ricorda, anzi ci ricorda, che nonostante tutti i momenti tristi o difficili che si possono incontrare lungo il cammino, bisogna sempre avere la forza di reagire e guardare avanti, possibilmente con il sorriso. Perché la vita è una sfida (come nello sport), a volte gareggiamo da soli, ma per fortuna il più delle volte non siamo da soli ad affrontarla. Per tutti i momenti belli, ma anche per quelli meno belli, perché mi vuoi un mondo di bene e perché mi sei sempre stato vicino, anche se io forse non ho saputo fare altrettanto.

Grazie a tutti i compagni e le compagne di allenamento, perché è bello condividere con persone speciali un momento che coniuga il crescere e il divertirsi insieme con la fatica, il sacrificio, la dedizione e la solidarietà, i principi fondamentali che servono nello Sport come nella vita.

Grazie a Simone, che mi fa sognare con il suo entusiasmo, pur tenendomi sempre sveglia.

Un ringraziamento doveroso alla mia famiglia che mi ha sempre supportato, economicamente e non; perché mi ha cresciuto facendomi capire quanto sia importante studiare, avere una cultura ma soprattutto affrontare la vita con determinazione. Senza di loro questa bella avventura a Bologna non sarebbe mai iniziata.

Alla fine la “paginetta” è diventata “tre paginette”, ma si sa, l’uomo non è fatto solo di numeri.